ISSN 0911-8705

久留米工業高等専門学校紀要

第22巻　第2号
平成19年5月

Memoirs of Kurume National College of Technology

Vol.22 No.2 May 2007

久留米工業高等専門学校

久留米工業高等専門学校

紀　　要

第22巻　第2号
（平成 19 年 5 月）

目　　次

一般論文

超電導体を用いた回転モータの特性評価と制御

中尾　哲也*1，上石　尚志*2，五通　大輔*3，森　美彦*4

Character and Control of the Rotary Motor using a Supercondutor

Tetsuya NAKAO*1, Hisashi KAMIISHI*2, Daisuke GOTSU*3, Yoshihiko MORI*4

Abstract: The pinning effect of a high-temperature superconductor(HTS) realizes noncontact levitation without additional devices. An HTS magnet can be easily produced by field cooling. When an HTS experiencing magnetic field is cooled by liquid nitrogen, the flux-pinning effect keeps magnetic flux trapped inside its body. It is field cooling. We developed an HTS rotary motor system. This paper describes that the character of this motor and the design of a linear controller. The rotation speed satisfactorily controlled by PI control law.

Keywords:High-temperature superconductor, rotary motor, PI control

1．はじめに

酸化物高温超電導体が発見されてから，さまざまな研究開発が行われている。超電導技術の応用として，エレクトロニクス分野では衛星通信，医療分野では断層画像撮影装置(MRI)などが実用化されている。これらの他にアクチュエータがある。超電導アクチュエータは非接触で磁束を拘束することにより超寿命で高トルクが出力可能と期待される。

酸化物高温超電導体は，極低温中において外部磁場の変化に応じて磁束格子が追随して変化しないピン止め効果という現象を有している[1]。この効果により特別な制御機構を持たずに完全非接触状態を保つことができる。非接触ゆえに接触による摩擦，磨耗，騒音といった弊害が軽減される。さらに，超電導体は他の永久磁石よりも高磁場を保持することができるため，従来のモータと比較して軽量で，高出力が得られると考えられる。

これまでの超電導に関する研究で，超電導体自体をモータの回転子へ応用した例は少ない。本研究では，円柱形の超電導体を回転子とし，その周囲に6つのソレノイドを配した超電導回転モータを製作した。また，比較対照として永久磁石を用いた回転子を製作した。この両者をブラシレスDCサーボモータと同様の駆動方法で回転，制御を行い，両者の性能，特性を比較・検討した。

今後，超電導技術の発展により常温超電導体が発見されれば冷却の問題は解消され，本研究の成果は，駆動・伝達分野において有用な設計情報を提供できると考えられる。

平成19年3月26日　受理
*1久留米工業高等専門学校 機械工学科
*2矢崎総業株式会社
*3久留米工業高等専門学校 機械工学科学生
*4久留米工業高等専門学校 機械工学科

2．超電導モータのシステム概要

2.1 酸化物高温超電導体の性質

酸化物高温超電導体は超電導状態で磁場の強さを上げていくと，非常に強力な磁束の侵入に耐えることができる。侵入した磁束は内部の不純物に引っかかり動けなくなってしまう。このため外部の磁場が変化しても内部磁束は変化しなくなる。この現象をピン止め効果という。常温状態下で超電導体内部に磁束を侵入させたまま固定し冷却すると，侵入した磁束は拘束され，固定した状態を保持しようとする。これを着磁という。これは磁場の変化する方向に拘束力が働くというもので，超電導体を磁石に近づけると反発力が生じ，遠ざけると吸引力が生じる。

2.2 駆動原理

製作した超電導回転モータは，回転子のまわりにある6つのソレノイドに電圧を適宜かけていくことで磁界を回転させ，着磁によるピン止め力を利用し回転トルクを得るようになっている。着磁の方法は，図2に示すように3つのパターンを考え，それぞれ

ModeⅠ，ModeⅡ，Mode Ⅲとした。これにより超電導体に保持される磁束の量が変わる。なお，モデル構築の単純化の為に超電導体の着磁のされ方を磁石と見立ててN極，S極とした。駆動原理を図3に示す。駆動方法は図3に示すように各ソレノイドの磁極を適宜切り替える方法をとる。これにより超電導体とソレノイドに反発力，吸引力が発生し回転トルクを得る。ソレノイドへの電流の切り替えは，エンコーダで超電導体の角度を検出し，一定の角度になった時，6つのソレノイドのそれぞれの極性を適宜切り換えるように設定した。これはブラシレスDCサーボモータと同様の駆動原理である[2]。

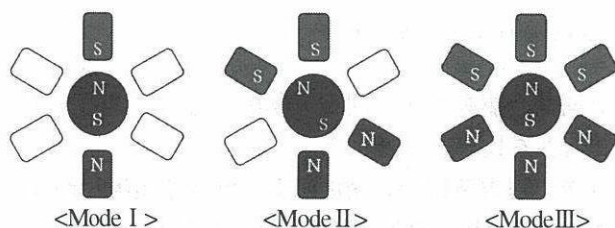



図2　着磁方法

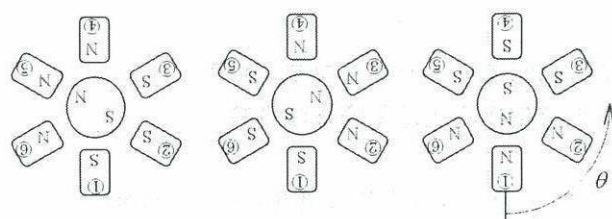



図3　駆動原理

3．実験装置

本実験で使用する実験装置の概要を図4に示す。モータ本体はロータリエンコーダ，超電導体，6つのソレノイドからなっている。駆動の為の指令電圧をDAボードからモータドライバへと送り，モータドライバから6つのソレノイドへ適宜電流を流す。超電導体の回転角度をエンコーダが検出し，値をカウンタボードによりPC内に取り込む。回転速度はデジタル微分によって計算される。サンプリング間隔は，1msecを最高に自由に変更可能なようにした。取り込まれたデータはVisual Basic 6.0でリアルタイムに適切な駆動指令電圧(±10V)を計算出力し，回転数を制御する。図5には超電導モータの写真を示す。

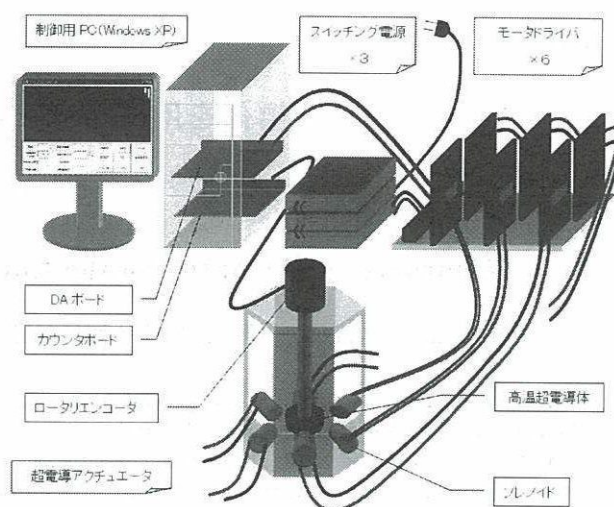



図4　実験の概要図

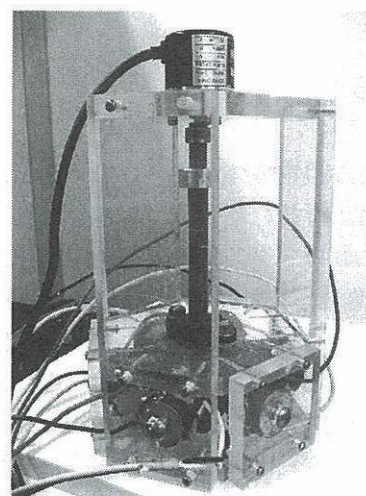



図5　モータ本体

図6に示すのは，超電導モータを制御するために開発したインターフェイス画面である。グラフ化することでリアルタイムに回転の様子が分かるようにしている。また各種パラメータは，ボタンやテキストボックスを配置することによって柔軟に変更できるようにした。

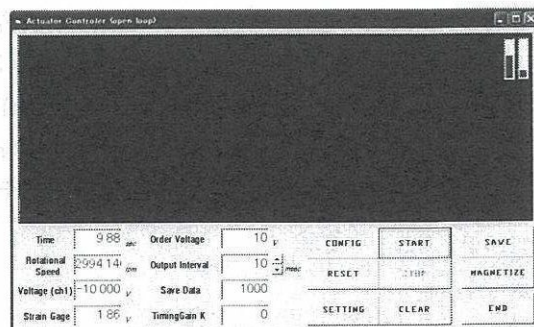



図6　製作したインターフェイス画面

4. 静特性・動特性の測定

4.1 静特性の測定方法及び結果

トルクの測定には，図7に示すように，アクチュエータ本体のほかに鋳鉄丸棒，鋳鉄丸棒と軸をつなぐカラー，歪みゲージを貼ったアルミ板を使用した。

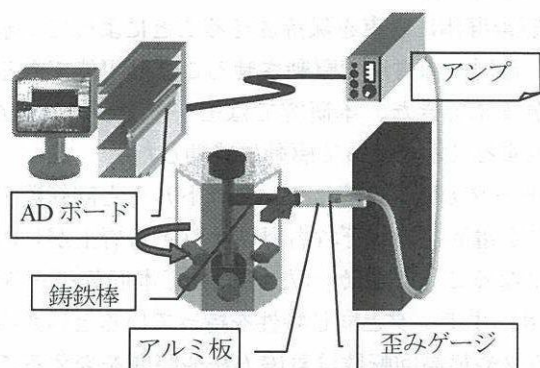



図7　静特性の測定方法

回転トルクは回転軸中心から丸棒先端までの長さと歪みゲージ電圧から求めた荷重を乗じて算出した。電流の測定には電流計を用い，静止時は直流，回転時には交流とみなし測定した。得られたトルク，電流，回転数の関係より入力と出力を計算し，効率を求めた。図8に着磁の違いによるトルクと回転数の関係，図9にトルクと効率の関係を示す。

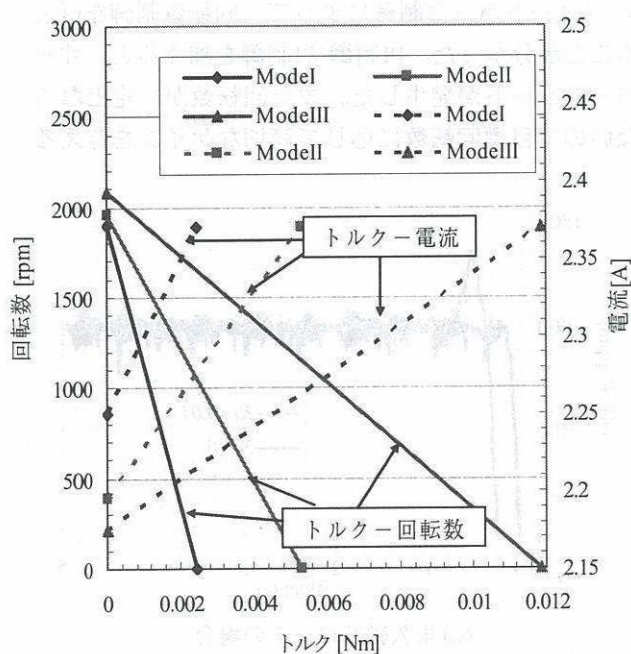



図8　着磁方法の違いによるトルクと回転数・電流の関係

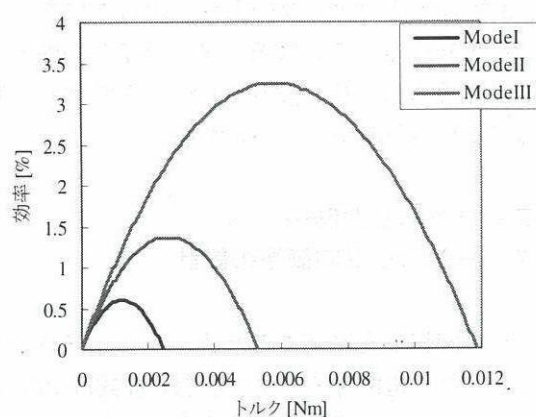



図9　着磁方法の違いによるトルクと効率の関係

4.2 動特性の測定および結果

モータへの指令電圧を様々に変えたときの回転数との関係を調べた。実験は超電導と永久磁石の両方について行った。結果を図10に示す。

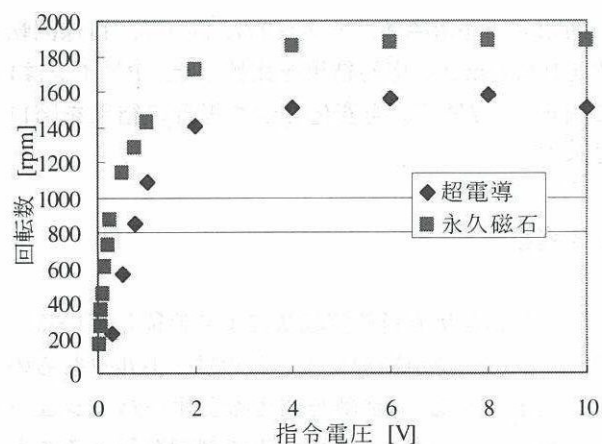



図10　指令電圧による回転数の変化

4.3 考察

図8でトルク-回転数は右下がり，トルク-電流は右上がりになっていることから，本実験で用いた超電導モータがDCサーボモータと同じ特性を持っていることがわかる。図9の効率曲線を見てみると励磁ソレノイドを増やしていくにしたがって効率が上昇している。モード2やモード3では超電導の極とソレノイドからの磁束の軸が平行ではないが，効率が上がっている。このことから着磁の際には磁束の量の影響が大きいと考えられる。図10では始めのうち指令電圧と回転数が比例関係にあるが，指令電圧が3

Vを過ぎたあたりで回転数の上昇が頭打ちになっていることが分かる。これはモータドライバの性能の限界だと考えられ，指令電圧が0～3Vの間で回転数を制御する必要があることがわかる。

5．フィードバック制御

5.1 フィードバック制御系の設計

モータの回転数を制御するためにフィードバック制御を行った。超電導モータの運動方程式は $J\dot{\omega}+D\omega=\tau$ とした。定常誤差をなくすためPI制御とし，制御則は，

$$G_c = K_p + \frac{K_I}{s} \quad (1)$$

で表される。ただし，J: 慣性モーメント，D: 慣性抵抗係数，K_P: 比例ゲイン，K_I:積分ゲインとする。

5.2 実験・結果

回転子が超電導体，永久磁石において，目標回転数を1000rpmとし応答結果を比較した。Pゲインは1に固定し，Iゲインを変化させた場合の結果を図11に示す。

5.3 考察

いずれの結果も目標回転数によく追従している。それぞれ回転数が振動しているのは，トルクむらのためだと考える。I制御を加えるとオーバーシュートが発生しており，P制御のみで制御が行えることがわかる。

6．結言

本研究では，ピン止め効果を用いた超電導体を回転子とするモータと，永久磁石を回転子としたモータの特性を測定することができた。以下に得られた知見を述べる。

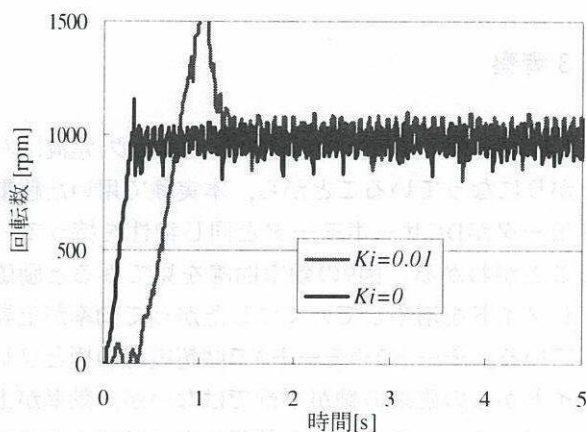
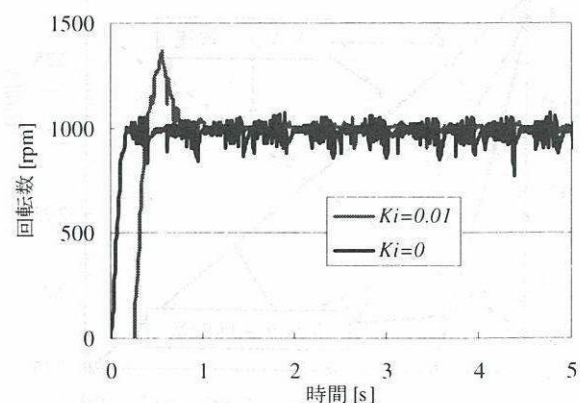
1. 超電導体に磁束を保持させることによって，永久磁石と同一の方法で駆動させることが可能であることが確認できた。本研究ではモータドライバを6台使用することによって駆動に成功した。
2. モータの動力性能について，トルクと回転数・トルクと電流はそれぞれ右肩下がりと右肩上がりの直線になることがわかった。よって本回転モータはDCサーボモータと同じ特性を持っているといえる。トルクや最高回転数は着磁方法や時間を変えることによって変化する。また永久磁石の回転子のほうが超電導の回転子より効率が高かった。これは摩擦や粘性による回転抵抗が大きいためと思われる。
3. 本モータの動特性については，電圧と回転数は比例するが，指令電圧に対する実際にソレノイドにかかっている電圧はすべての領域において線形性があるわけではない。特に指令電圧が3Vを超えると実効電圧は一定になる。これは指令電圧の切り替えに対して，モータドライバによる切り替えが追いついていないことが考えられる。
4. フィードバック制御によって，回転数制御を行えることが分かった。PI制御でI制御を加えると，オーバーシュートが発生した。また回転数が一定とならないので目標回転数に応じて適切なゲインを与える

(a)超電導ロータの場合

(b)永久磁石ロータの場合

図11　超電導体と永久磁石における制御結果（$K_P=1$）

必要がある。

参考文献

[1] M.Murakami, et al: Large Levitation Force Due to Flux Pinning in MPMG Processed YBaCuO Superconductors with Ag Doping, in Advances in Superconductivity Ⅲ (Eds: K.Kajimura and Hayakawa) pp.753-756, 1991
[2]見城尚志，佐渡友茂『イラスト･図解　小型モータのすべて』，技術論評者，2001

一般論文

3D-CAD/CAMによるマイクロプロペラ形風車ブレードの設計・製作（第2報；ラボスケールブレードの製作）

福田　幸一*1，中武　靖仁*2，田中　大*2，内尾　晃太*3，長浜　翔*4

Design and Manufacturing of Rotor Blades for Micro Propeller Type Wind Turbine with Three-Dimensional CAD/CAM (2nd Report ; Manufacturing for Laboratory Scale Blade)

Koichi FUKUDA*1, Yasuhito NAKATAKE*2, Hiroshi TANAKA*2, Kohta UCHIO*3 and Sho NAGAHAMA*4

1．はじめに

自然エネルギーへの関心の高まり，原油価格の高騰，あるいはモニュメント効果などの事由により，風力発電機としては最も小さいクラスである出力1kW（回転ロータ直径3m程度）以下のマイクロ風力発電機が，ビルの屋上，公園などにおいて目にするようになってきた。

しかし，風車サイズが小さいほど発電量に対する設備費が割高になることから，特に，マイクロプロペラ風車専用のロータブレード（回転羽根）に関する研究はあまり例がない。

本研究では，マイクロプロペラ風車に適したブレード，すなわち，高出力を維持し，できるだけ風切り騒音を低く抑えるために，より高速で回転させることにより，より効率が高くなる高性能な新型ブレードの開発[1]を目的にしている。

この新型マイクロ風車ブレードの開発を，可能な限り自前で，しかも本校の現有設備を利用して行うことは，コスト面および製作日数の点からも有意義であり，さらに，現有設備の有効利用の観点からも重要である。そこで，マイクロプロペラ風車用のブレードの設計・製作を例として，3D-CAD/CAMによる3次元形状をもつ物体の設計・製作について技術論文として報告する。

平成19年3月26日　受理
*1久留米工業高等専門学校制御情報工学科
*2久留米工業高等専門学校機械工学科
*3元久留米工業高等専門学校専攻科生
*4九州工業大学大学院生命体工学研究所

第1報では，ブレードの設計・製図について報告した[2]。

本報では，第1報で作成された3D-CADデータを基に工程設計を行い，3D-CAMにより工具経路を自動生成し，NCプログラムを作成して，NC工作機械（マシニングセンタ）により切削加工を行ったので，その概要を報告する。

2．プロペラ形風車ブレード形状の概要

プロペラ形風力発電ではできるだけ高速に回転する方が効率が高い。従って，風を切り裂いて高速に回転することで揚力を得ることのできる，風との摩擦抵抗が小さくなる弦長（幅）の短いブレード（翼，羽根）が最も使用されている。

3．プロペラ形風車ブレードの製作

3.1 製作手順

3D-CAMによる3次元形状をもつ物体の製作は通常，以下の手順で行う。

1) 形状データ（3D-CAD）の準備
2) 工作機械，工具の準備
3) 材料，取付具の準備
4) 工程設計（加工順序の決定）
5) 3D-CAMによる処理
　①モデルデータの読込
　②加工座標軸・加工原点の設定
　③素材の定義　　④工具選択
　⑤切削条件の設定

⑥加工方法選択・パラメータ設定
⑦工具経路の生成
⑧切削シミュレーション
⑨NCプログラムの生成
6) 加工座標系の設定とNCプログラム修正
7) NCプログラムの転送と加工

今回使用した3D-CAMソフトウエアは，VisualMill 5.0である。

以下，製作手順に沿って，前進翼を例に概要を説明する。

3. 2 形状データ（3D-CAD）の準備

第1報で報告した方法で作成したブレードの3次元形状（図1）は，使用した３D-CAD（SolidWorks）のファイルの種類で保存されている。3D-CADのバージョンが新しい場合，3D-CAMへデータを読み込めない。この場合は，3D-CAD データを ANSI 規格のデータ・フォーマットであるIGES（Initial Graphics Exchange Specification）形式で保存しておき，ファイル読み込み時に同形式を指定すればよい。

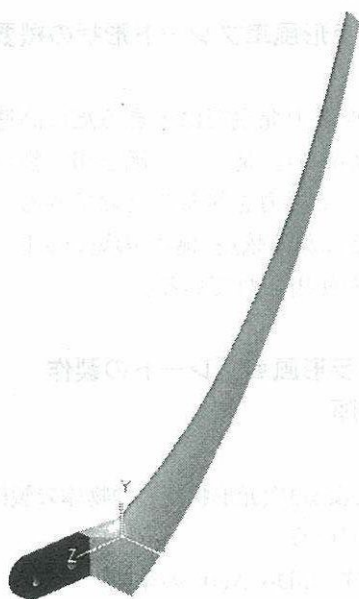



図1　ブレードの形状（前進翼）と座標軸

3. 3 工作機械，工具の準備

今回は，制御情報工学科棟1階CAD/CAM実験室に設備の立形マシニングセンタ（図2　紀和マシナリー製D433－S　同時3軸制御）を使用した。

マシニングセンタの主な仕様を以下に記す。

テーブル固定・コラム移動式（図3）

各軸移動量　X 350mm, Y 250mm, Z 300mm

主軸回転数　最高 6000rpm

工具マガジン　8本（自動工具交換装置）

また，工具は，高速度鋼のボールエンドミル（図4）で，荒加工には直径16mm，仕上加工には直径6mmを使用した。

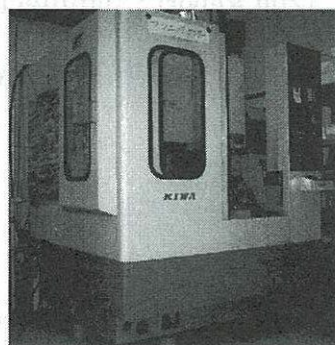



図2　マシニングセンタ　　図4工具（ボールエンドミル）

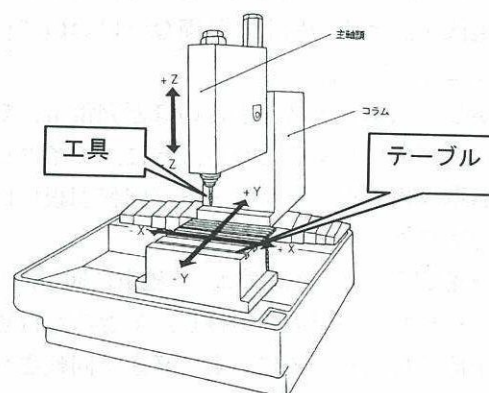



図3　マシニングセンタの構成
(株)紀和マシナリー取扱説明書より）

3. 4 材料，取付具の準備

ブレードの製作にあたり，まず3D-CADデータを基に，モデルの形状・寸法，マシニングセンタの移動範囲からモデルの配置および固定方法も検討して，材料の大きさを決定する。なお，今回は材質をアルミ合金とした。

材料の工作機械テーブルへの固定方法は，テーブルのT溝を使用し，直接，ボルトにて行った。また，材料の大きさは，ブレードを2個配置して，表裏と

も加工する必要があるため，取付基準面をテーブル前面の基準面に直接合わせ，図5に示すようにブレードの形状より大きくした（450mm×350mm×20mm）。材料の節約のためにはテーブル前面の基準面との間に平行ブロックを入れて固定すればよい。

なお，図5を表面とすれば，裏面を加工する時は，今回は前後方向（X軸まわり）に材料を回転させて，加工原点のX座標は変化しないようにした。

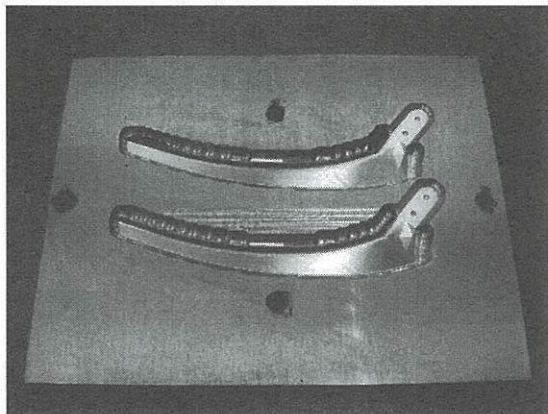



図5　材料の大きさとブレードの配置

3.5 工程設計

次に，表面・裏面および荒加工・仕上加工の工程分割を行う。今回は表面の荒加工，仕上加工，裏面の荒加工，仕上加工の順に行った。

上下分割面の設定は，図6に示すように未加工部分ができないようにするため，基本的にブレード支持部の厚さの中央で行った。

図6　上下分割面の設定

加工原点は，３D-CADデータの原点に合わせた。

3.6 CAMによる処理

1）モデルデータの読込

『ジオメトリ』→［開く］準備した3D-CADデータを開く『　』はブラウザのタブ，［　］はブラウザのアイコン

2）加工座標軸・加工原点の設定

モデルの座標軸をマシニングセンタの座標軸に合わせる（図7）。

図7　加工座標軸・加工原点の設定

「編集」→｛回転｝→　座標軸・角度指定
「　」はメニューバー，｛　｝はダイアログボックスのタブ

3）素材の定義（図8）

モデルの外形からXYZ方向に大きい量をmm単位で入力する。これはシミュレーションで使用する。

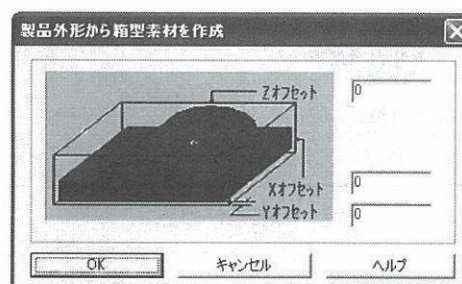



図8　素材の定義

4）工具選択

『工具』→［工具の作成/選択］

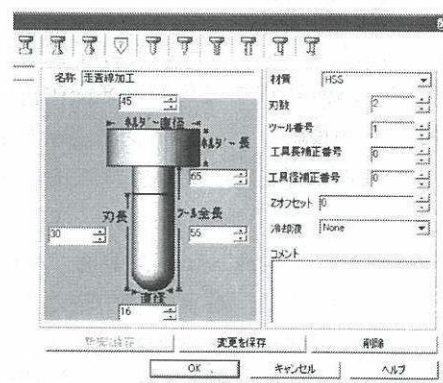



図9　工具の選択

必要な工具を用意されているリストから選択する（図9）。リストにない場合は，定義する。

5) 切削条件の設定

『加工』→［工具送り/回転の設定］（図10）

荒加工

主軸回転数　480rpm，送り速度80mm/min

切削速度24m/min，1刃あたり送り0.08mm/刃

仕上加工

主軸回転数1400rpm，送り速度450mm/min

切削速度26m/min，1刃あたり送り0.16mm/刃

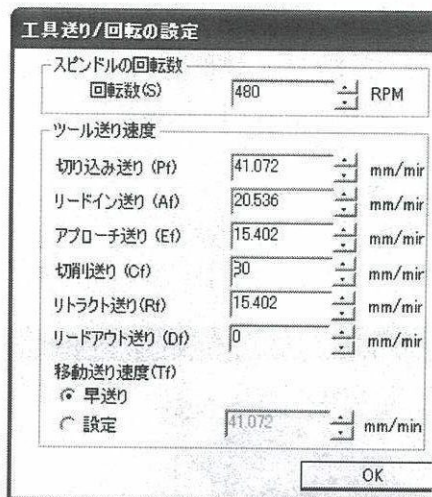



図10　切削条件の設定

6) 加工方法選択・パラメータ設定

『加工』→［3軸加工］→［走査線加工］

{加工方法設定}（図11）

内側・外側許容誤差

この3D-CAMソフトの工具経路計算手法は公開されていないが，曲面形状を三角形で多面体近似していることは，モデルのシェーディング表示を解除することで知ることができる（図12）。この近似の誤差を指定する。

残り代　荒加工　表面　1mm，裏面　3mm

裏面が多いのは，裏面荒加工時にブレードの強度をもたせるためである。

切削方向　　荒加工　往復

仕上加工　ダウンカット

工具直径が小さい仕上加工はダウンカットの方が振動が少ないが、加工時間は多くなる。

加工ピッチ　荒加工　3mm

仕上加工　0.5mm

これはY軸方向の走査線の間隔である。

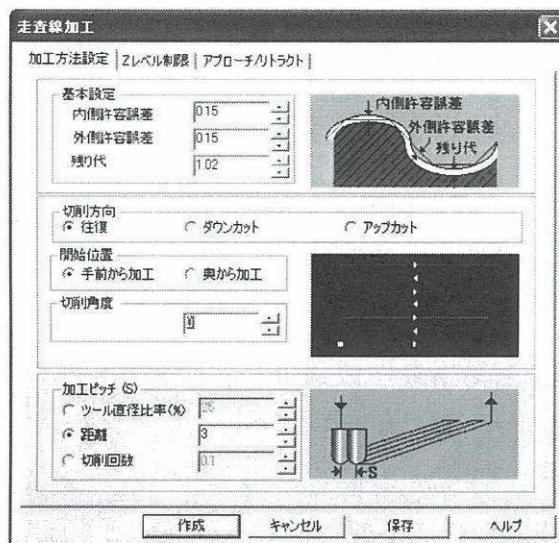



図11　加工方法設定

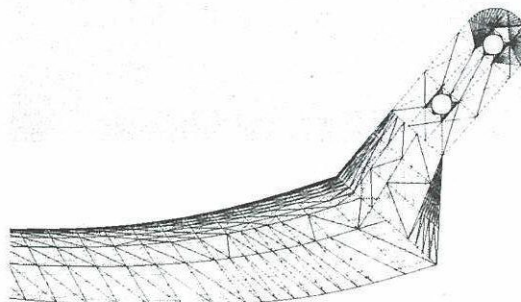



図12　モデルの多面体近似（一部表示）

{Zレベル制限}（図13）

材料の高さ方向におけるZ軸原点と形状より，Zレベルを決定する。この値よりも工具は下がらないことになる。裏面荒加工でブレードの材料からの分離に注意する。

表面　-5mm，裏面　荒　6mm，　仕上　0mm

図13　Zレベル制限

{アプローチ/リトラクト}（図14）

回避高さ

工具が材料と干渉しないように設定する。

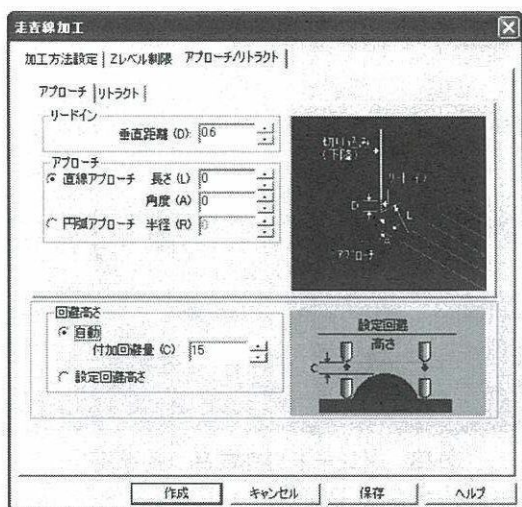



図14　回避高さ

7) 工具経路の生成

以上の設定が終わり，（作成）ボタンをクリックすれば，工具経路（工具中心先端の移動軌跡の3次元座標）が計算され，図15のように作図される。図中のブレードに描かれた青い線が工具が切削時に動く軌跡，赤い線が早送りで移動する軌跡を表している。

工具経路の計算は，多面体近似されたモデル（図12）と球面工具との接触により行われているものと想像することができる。

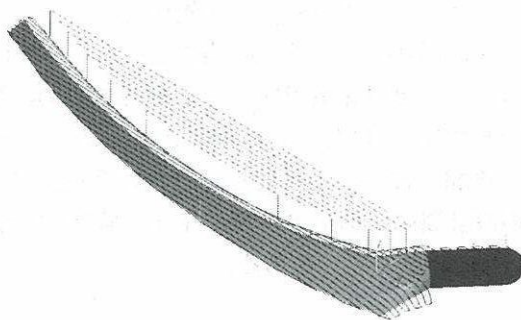



図15　工具経路の作図（荒加工）

8) 切削シミュレーション

『素材』→［シミュレーション］

切削シミュレーションは，工具が材料を切削する様子がアニメーションで表現される。シミュレーション結果を図16に示す。

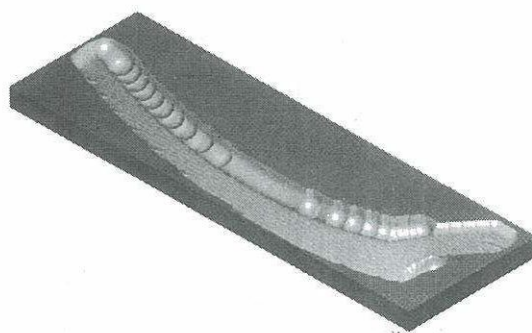



図16　切削シミュレーション結果（荒加工）

9) NCプログラムの生成

『加工』→［NCデータ変換］

{出力定義ファイル選択}

出力定義ファイルとはNC制御装置の種類のことで，メーカの機種を選択する。今回使用するのは，ファナック社のFANUC 0Mである。（図17）

出力ファイル名を指定　テキストファイルを指定し，（OK）ボタンをクリックすればNCプログラムが生成される。

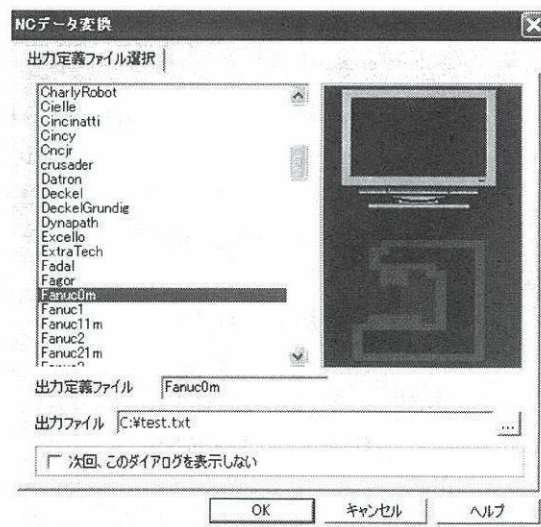



図17　NCデータ変換

3.7 加工座標系の設定とNCプログラム修正

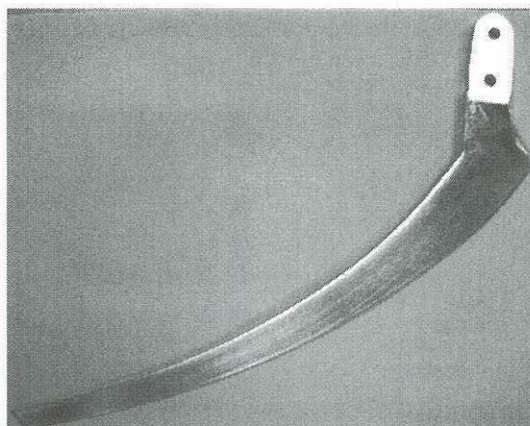
荒・仕上加工，表・裏面で加工原点のY，Z座標が異なり，X座標は同一である。工具長の測定結果などを基にG92で指定する。

完成したNCプログラムの一部を以下に示す。

%　　：NCプログラム始め

O71　：プログラム番号

G92X50.Y144.Z250.27 ：加工原点の設定

G90G00X0.0Y0.0：絶対値表現の指定,
加工開始点へ直線早送り移動
S1400M3　：工具回転数の指定、主軸正転起動
G01X-69.695Y-49.128Z30.F4000
：指定の座標まで直線補間
送り速度4000mm/min
Z-0.347F41.1　：Z軸方向切り込み
Z-0.947F15.4
X-59.165Z-1.222F450　：X軸正方向に走査線加工
X-50.165Z-1.56　(直線近似)
X-41.165Z-2.018
・
・

3.8 NCプログラムの転送と加工

今回，NCプログラム容量が最大で120kBとなり，NC制御装置のメモリ容量は，128kBであり，学生実験などで使用するNCプログラムが常駐しているため，メモリに入りきれず，TAPE運転モードによる加工を行った。これは，NCプログラムを転送しながら加工を行う方法である。

ブレードの加工は，板の表面と裏面に分けて行い，1つの面に荒加工と仕上げ加工を施したのでブレード1本につき計4回の切削を行った。最終的に加工時間は1枚（ブレード2個）につき約20時間であった。

加工時間内訳
第1工程（表面）　荒加工　3時間
　　　　　　　　仕上加工　7時間
第2工程（裏面）　荒加工　2時間
　　　　　　　　仕上加工　7.5時間

3.9 加工結果

図5に加工結果を示す。今回使用した3D-CAMソフトの処理により，ブレードの形状が材料から完全に分離されていない。手作業で分離後，表面を紙やすりで仕上げた結果を図18に示す。

4．製作したブレードの使用

このブレードを風車実験装置に取り付けた様子を図19に示す。

図18　ブレードの完成品（前進翼）

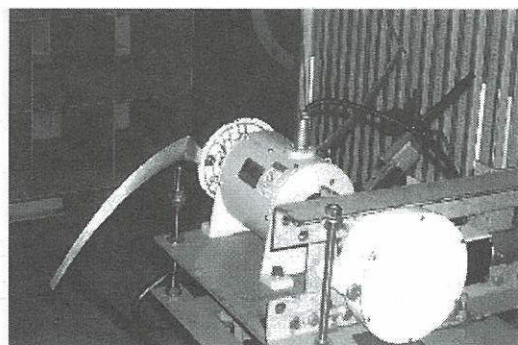



図19　風車実験装置

5．おわりに

3次元形状をもつ物体の設計・製作を行うために，第1報の設計製図に引き続き，第2報として，マイクロプロペラ形風力発電用ブレードを例に，3D-CAMを利用したNCプログラムの生成とマシニングセンタによる加工について概要を述べた。今後，3次元形状の設計製図・加工が必要になった場合の参考にしていただければ幸いである。

参考文献

1) 中武・田中・内尾，マイクロ水平軸風車用前進角付きブレードの性能に関する実験的研究，風力エネルギー，vol. 28，no. 3，pp. 54-57，2004.（30 Sep. 2004）
2) 中武・福田・田中・内尾・長浜，3D-CAD/CAMによるマイクロプロペラ形風車ブレードの設計・製作（第1報；ラボスケールブレードの設計製図），久留米高専紀要，vol.22，no.1，pp. 47-52，2006.（29 Sep. 2006）

一般論文

電気泳動法によるシリカコロイド結晶膜の作製と評価

濱上　寿一*1，吉村　浩一*1，松田　厚範*2

Fabrication and Characterization of Silica Colloidal Crystal Films by Electrophoretic Deposition Method

Jun-ichi HAMAGAMI*1, Kouichi YOSHIMURA*1, and Atsunori MATSUDA*2

Abstract

An electrophoretic deposition (EPD) process was applied to fabrication of photonic crystals based on colloidal crystals constructed from monodispersed silica microspheres of 290-nm diameter. The colloid arrangement, that is crystallinity, depends strongly on the optical property such as stopband position, absorbance, peak width, *etc*. We investigated an influence of the arrangement of silica colloids by the EPD process on the optical property. It was found that the absorbance of the silica colloidal crystals was significantly affected by the field strength during the EPD process.

Keywords: Colloidal crystal film, Monodisperse silica microspheres, Electrophoretic deposition process, Optical property, Microstructure

1．緒　言

粒子サイズがナノメートルからサブマイクロメートルオーダーの真球状の単分散コロイド粒子が二次元または三次元的に周期構造をもつ粒子集積体はコロイド結晶と呼ばれている。[1-5] コロイド結晶は構造体中の粒子と空隙の周期的な屈折率の変化から興味ある光学特性を示すことが知られている。コロイド結晶の光学特性については後述する。コロイド結晶の応用例としては，可視光領域での光学デバイスとしてのフォトニック結晶，高密度集積体，二次元または三次元的に微細構造が高度制御された規則配列細孔を有する多孔体，結晶成長過程のモデルなどが挙げられる。

コロイド結晶を作製するプロセスには，重力や遠心力による沈降法，吸引ろ過法，移流集積現象を利用した引き上げ法や垂直堆積法などがある。[5] これらのプロセスでは，コロイド結晶の作製に長時間を要し，マイクロパターニング技術としての応用展開が難しいなどの問題がある。これらの問題を解決するために，われわれは，低コストかつ短時間に良質なコロイド結晶膜を作製する方法として電気泳動（electrophoretic deposition: EPD，以下EPDと略記する）法を採用し，高品質なコロイド結晶膜を作製するためのプロセス条件の最適化に関する検討を行っている。[6]

EPD法はコロイド粒子を分散させた懸濁液（サスペンション）中に一対の電極を浸漬させ電圧を印加することで，懸濁液中の帯電粒子を所定の基板上に移動（電気泳動）させ，基板上に堆積させる粒子集積化プロセスである（図1参照）。[7-15] EPD法は電場を利用した溶液中でのコロイド粒子のボトムアッププロセスともいえる。EPD法の特徴は，電極の数，

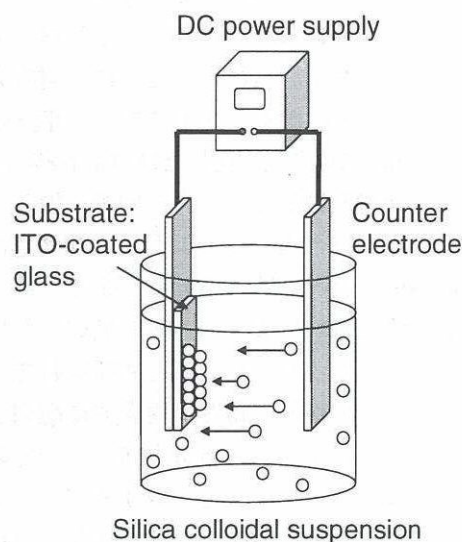



Fig. 1. Schematic illustration of experimental setup for electrophoretic deposition (EPD) process.

平成19年3月26日　受理
*1久留米工業高等専門学校 材料工学科
*2豊橋技術科学大学 物質工学科

形状，空間的配置，極性をコントロールすることでコロイド結晶からなるマイクロドットやマイクロラインが形成できる点にある。[16-21] コロイド結晶の質は光学的な応用と材料化やデバイス化などへの応用を図るうえでも重要である。目的とする光学特性を有するコロイド結晶を作製するために，EPDプロセス条件の最適化が必要となる。

そこで，本研究では，EPD法で高品質なコロイド結晶膜を作製するためのプロセス条件の最適化を検討することを目的とした。良質なコロイド結晶膜を作製するためには，基板上へのコロイド粒子の核形成と結晶成長速度をコントロールする必要がある。核形成と結晶成長速度を制御するために，EPDプロセスパラメータの一つである印加電圧に着目した。印加電圧を調整することで，粒子の堆積状態（規則配列構造）が異なるコロイド結晶膜を作製し，その表面欠陥が光学的な性質に及ぼす影響について調査した。本研究ではモデル粒子としてシリカ単分散球状粒子（直径290 nm）を用いた。シリカコロイド結晶膜の表面欠陥数と光学特性の間には相関があることがわかった。EPD法を用いて高品質なコロイド結晶膜を作製するためには，低電圧でのEPDプロセスが有効であることが明らかとなった。

2．コロイド結晶の光学特性

単分散球状粒子が三次元に規則配列したコロイド結晶はその微細構造に起因した興味ある光学特性を示すことが知られている。単分散球状粒子には，セラミックス材料であるシリカや高分子材料であるポリスチレンなどが用いられる。とくに，可視光の波長（380〜780 nm）程度のサイズをもつ単分散球状粒子が三次元的に規則配列化したコロイド結晶では，その物理的な周期構造による光の回折や散乱に起因した発色が観察できる。このような微細構造に由来した発色は構造色と呼ばれている。また，粒子の周期配列構造体は自然界のオパールに類似した粒子配列をもつことからオパール構造とも呼ばれている。屈折率の異なる二種類の物質が周期的に配列した構造を持つコロイド結晶は，ある方向のみの光の伝搬を抑制するストップバンドを形成する。[25-26] コロイド結晶はフォトニック結晶の一種である。コロイド結晶に対して，光を垂直入射した場合のストップバンドの波長位置（光透過率スペクトルでは極小値の波長，光反射率スペクトルでは極大値の波長）は，以下のBraggの式により算出される。

$$\lambda = 2\sqrt{\frac{2}{3}}d\sqrt{V_f n_p^2 + (1-V_f) n_v^2}$$

ここで，λ はストップバンドの波長（光透過率スペクトルでの極小値の波長または光反射率・光吸収スペクトルでの極大値の波長），dは単分散球状粒子の直径，V_f は粒子の充填率，n_pとn_v は粒子と空隙の屈折率である。コロイド粒子が面心立方格子（face centered cubic: fcc）と同様な最密充填構造（fccの(111)面）をとる場合，粒子の充填率は0.74である。Braggの式より，粒子のサイズや種類（屈折率）を変化させることでストップバンドの位置を正確にコントロールすることができる。

3．実験方法

電気泳動（EPD）法を用いてシリカコロイド結晶膜を作製した。単分散シリカ球状粒子として日産化学工業製のシリカコロイドが分散した水系サスペンションであるMP-3040を用いた。分散溶液にはエタノール（純度99.5%，和光純薬工業）を用いた。シリカサスペンション2.5 mlをエタノール50 ml中に添加した後，超音波洗浄機による分散処理を20分間行い，EPDプロセスに用いる懸濁液とした。図1に示すような平行平板電極を用いた定電圧EPDプロセスによりシリカコロイド結晶膜を作製した。電極基材にはITO（Indium-Tin-Oxide）導電性ガラス板を用い，対向電極にはステンレス板を用いた。電極間距離は10 mmに固定した。電源には直流電源（AD-8735, AND）を用いた。印加電圧を5 Vから30 Vの範囲で変化させ，所定時間（30秒から7分）のEPDを行った。粒子が堆積する面積は10 mm×10 mmとした。EPD後，電極を懸濁液から1.6 mm s^{-1}の速度で引き上げ，デシケータ内で1日間乾燥させた。

得られた試料の光学特性の評価は，光透過率スペクトルを分光光度計（V-570, JASCO）により測定し，吸光度スペクトルに変換したものを用いた。また，実験に用いたシリカ粒子のサイズと形状，およびコロイド結晶膜の膜厚とその表面の微細構造は走査型電子顕微鏡（SEM: S-2380, Hitachi）を用いて観察した。シリカコロイド結晶が形成されるITOガラス電極の表面状態は原子間力顕微鏡（AFM: Nanoscope IIIa, Digital Instruments）により観察した。

4．実験結果及び考察

良好な光学特性を示すコロイド結晶膜を作製するためには，コロイド結晶を構成する粒子の形状と単分散性，および基板表面の平滑性を調べる必要がある。図2に本実験で用いたシリカ粒子のSEM写真とITOガラス基板表面のAFM像を示す。図2(a)のSEM写真から，シリカ粒子の直径が290 nmであり，単分散性の高い球状粒子であることが観察された。また，図2(b)のAFM像より，肉眼では平滑に見えるITOガラスの基板表面には40 nm程度の凹凸が存在していることがわかった。この基板表面の凹凸はシリカ粒子のサイズに比べて小さいことから，コロイド結晶の規則配列化（結晶性）におよぼす影響は無視できるものと考えた。これらの材料を用いて，EPD法によりITOガラス基板上にシリカコロイド結晶膜を形成させた。EPDの結果，陽極にのみシリカ粒子が堆積したことから，エタノール懸濁液中で粒子表面は負に帯電していることがわかった。これは，エタノール中に微量に存在する水の電離によって電位決定イオンである水酸化物イオン（OH^-）がシリカコロイド表面に選択吸着された結果，粒子が負に帯電したと考えられる。

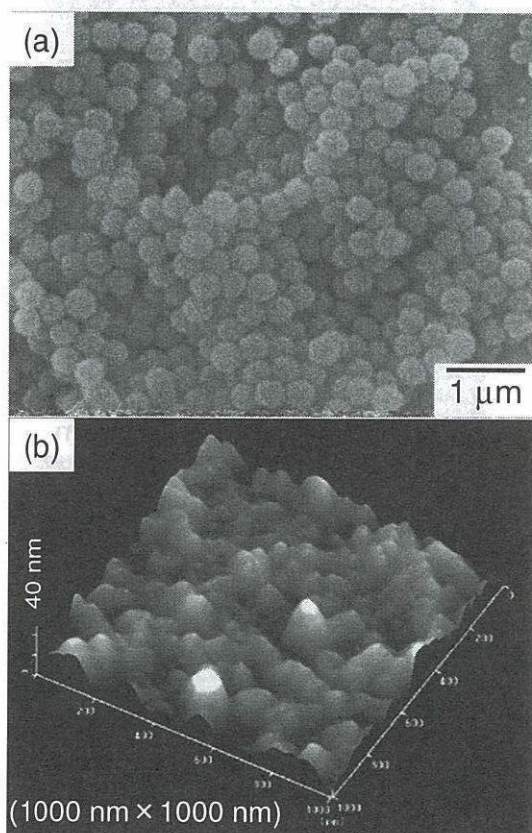



Fig. 2. (a) SEM photograph of monodisperse silica spheres and (b) AFM image of ITO-coated glass substrate used in this work.

図3にシリカ粒子の堆積速度と電気泳動プロセスにおける印加電圧の関係を示す。粒子の堆積速度は，SEMによる断面観察により求めた膜厚を堆積時間で除したものである。試料の膜厚は，印加電圧が5 Vで25 μm，10 Vで23 μm，20 Vで27 μm，そして30 Vで23 μmであった。電極間距離を1 cmと固定したため，横軸の電圧値(V)は電界強度値(V cm^{-1})と等価である。印加電圧の増加にしたがい，堆積速度は直線的に増加する傾向を示した。得られた結果は，コロイド粒子の電気泳動移動度を与える式として最もよく用いられるSmoluchowskiの式にしたがうことがわかった。ただし，コロイド粒子を溶液中で電気泳動し，基板上に堆積させるための臨界電圧値が存在する。本実験において，EPDの印加電圧が2 Vのとき，基板上に粒子の堆積層は確認されなかった。5 V以上のとき，基板電極表面に均質なシリカ粒子の堆積が確認できた。粒子の堆積速度はコロイド結晶の核形成と結晶成長速度に相関がある。

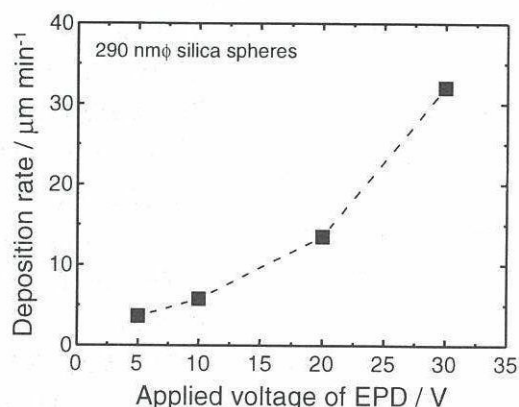



Fig. 3. Relationship between deposition rate of silica colloidal crystal film and applied voltage of the EPD process.

図4に印加電圧が5 Vから30 Vの定電圧EPD法で作製された試料の可視光領域の波長を含む500 nmから1000 nmにおける光吸収スペクトルを示す。スペクトルの結果から，すべての試料において波長643 nmに極大値をもつ光吸収ピークが検出された。この吸収ピークはストップバンドと呼ばれ，シリカ粒子の屈折率(n=1.45)とその空隙（空気）の屈折率(n=1)との周期構造に基づくBragg反射に起因するもので

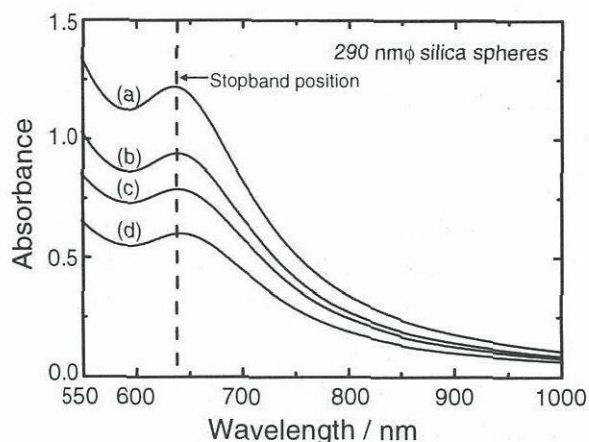



Fig. 4. Optical absorbance spectra of silica colloidal crystal films prepared by the EPD process with different applied voltages of (a) 5 V, (b) 10 V, (c) 20 V, and (d) 30 V.

ある。Braggの式から求められる理論的な吸収ピークの波長位置は627 nmであり，これは実験値とよく一致しているといえる。また，コロイド結晶膜の光学的な質を示す吸光度と吸収ピーク幅はEPDプロセスの印加電圧に依存することがわかった。すなわち，EPDの印加電圧の減少にともない，高品質なコロイド結晶膜（吸光度は増加し，ピーク幅は減少する）が作製できることがわかった。このような傾向はコロイド結晶膜を構成する粒子の配列状態が関係していると考え，SEMによる微細構造の観察を行った。

図5にEPDの印加電圧が5 Vから30 Vの定電圧EPD法で作製されたコロイド結晶膜の表面のSEM写真を示す。これより，EPDプロセスで作製されるコロイド結晶は多結晶膜であることがわかる。また，シリカコロイド粒子が最密充填構造（面心立方格子の(111)面が基板に対して平行に成長している）で堆積している様子がわかる。EPD電圧値が低いほど，グレインサイズが大きくなる傾向が見て取れる。コロイド結晶の結晶性を半定量的に評価するために，SEM写真中の点欠陥数をカウントし，単位面積（1 μm^2）当たりの欠陥数として算出した。

図6にコロイド結晶膜の単位面積当たりの欠陥数とEPDプロセスの印加電圧との関係を示す。この結果より，EPD電圧が低くなるにしたがって，コロイド結晶膜の表面欠陥数が減少することがわかった。図3からEPD電圧が低いほど粒子の堆積速度は遅くなる。そのため，コロイド結晶膜の核形成と結晶成長速度が抑制されたことにより欠陥数が減少したと考えた。

図7にストップバンドの位置における吸光度と吸収ピーク幅に及ぼすコロイド結晶膜の表面欠陥数の影響を示す。この結果から，コロイド結晶膜の表面欠陥数とその光学特性（吸光度，吸収ピーク幅）の間には相関があることが明らかとなった。EPD法を

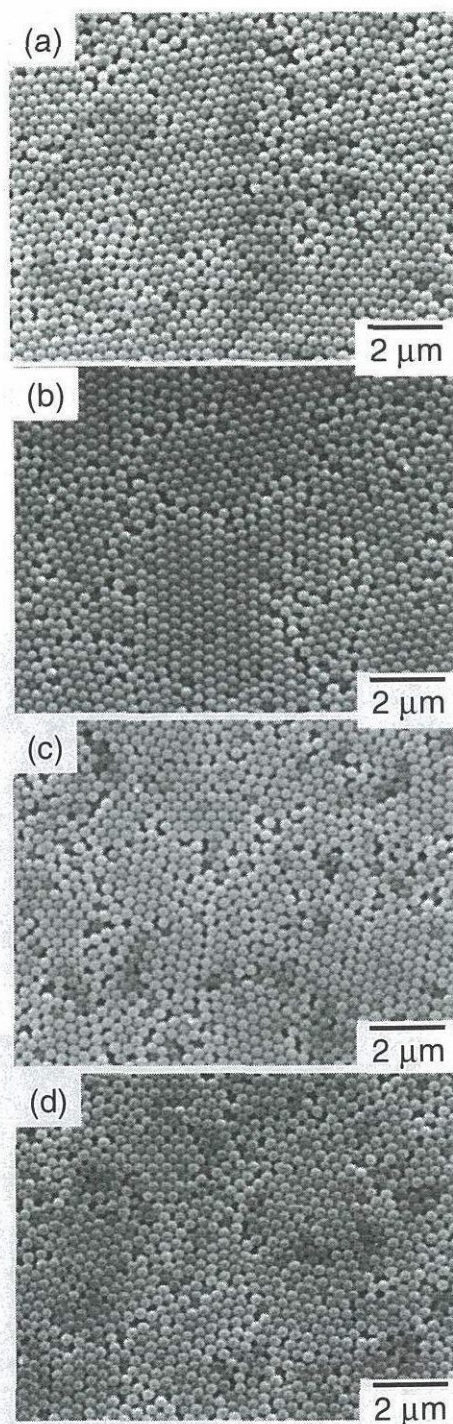



Fig. 5. SEM micrographs of the surfaces of silica colloidal crystal films prepared by the EPD process with different applied voltages of (a) 5 V, (b) 10 V, (c) 20 V, and (d) 30 V.

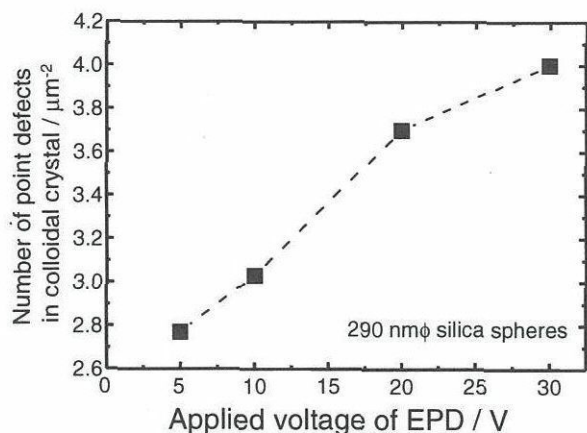



Fig. 6. Relationship between number of point defects in silica colloidal crystal films and applied voltage of the EPD process.

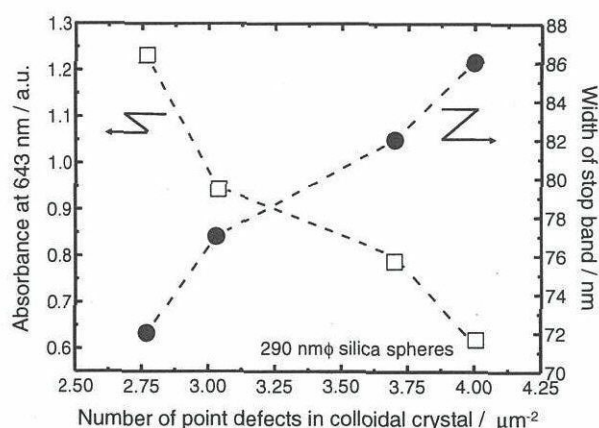



Fig. 7. Absorbance at 643 nm and the peak width of stopband as a function of number of point defects in silica colloidal crystal films prepared by the EPD process.

用いて良質なコロイド結晶膜を作製するには，表面欠陥数を減少させるために低電圧でのEPDプロセスが有効であることが示唆された。

5．結　論

電気泳動(EPD)法を用いて良質な光学特性を有するシリカコロイド結晶膜（シリカ粒子径=290 nm）の作製プロセス条件について検討を行った。本研究では，EPDプロセスパラメータの一つである印加電圧（電界強度）がコロイド結晶の光学特性に及ぼす影響について詳細に検討した。EPDの印加電圧を変化させることで粒子の堆積速度をコントロールすることができた。このことは，コロイド結晶の核生成と成長速度を制御していることと同じである。EPDの印加電圧を変化させて作製したシリカコロイド結晶膜の光吸収スペクトルから，波長643 nmに極大値をもつ光吸収ピークが検出された。コロイド結晶の光学的な質を示す吸光度と吸収ピーク幅はEPDの印加電圧に依存した。EPDプロセス条件と光学特性を関連付けるためにコロイド結晶の質を表面の欠陥数により半定量化した。コロイド結晶膜の表面欠陥数と光学特性（吸光度，吸収ピーク幅）の間には相関があることがわかった。以上の結果より，EPD法を用いて高品質なコロイド結晶膜を作製するためには，低電圧でのEPDプロセスが有効であることが示唆された。

謝　辞

本研究の一部は，豊橋技術科学大学平成18年度教育研究活性化経費（高専連携）(研究代表者：松田厚範教授「紫外光照射と温水処理によるゾルゲル無機ー有機複合ハイブリッド膜のマイクロパターニング」）および平成18年度名古屋大学Nature COEオープンクラスターの補助を受けて実施されたものである。また，本実験に用いたシリカコロイド粒子は日産化学工業㈱にご提供いただいた。この場を借りて，お礼申しあげたい。

参考文献

1) E. Yablonovitch, *Phys. Rev. Lett.*, **58**, 2059 (1987).
2) S. John, *Phys. Rev. Lett.*, **58**, 2486 (1987).
3) F. Caruso(Ed.), Colloids and Colloid Assemblies, Wiley-VCH (2004).
4) K. Busch, S. Lolkes, R.B. Wehrspohn, and H. Föll (Eds.), Photonic Crystals, Wiley-VCH (2004).
5) 物質・材料研究機構 粒子アセンブル研究会編, 粒子集積化技術の世界, 工業調査会 (2001).
6) 濱上寿一・金村聖志, セラミックス, **40**, 150 (2005).
7) K. Kanamura, and J. Hamagami, *Solid State Ionics*, **172**, 303 (2004).
8) 濱上寿一, 金村聖志, *粉体工学会誌*, **39**, 587 (2002).
9) 濱上寿一, 金村聖志, 梅垣高士, *マテリアルインテグレーション*, **13**, 63 (2000).
10) 濱上寿一, 大柿真毅, 山下仁大, セラミックデータブック1998, 工業製品技術協会, 155 (1998).
11) 山下仁大，濱上寿一，松田元秀，高田雅介，ニュー

セラミックス&エレクトロニク・セラミックス, **11**, 31 (1998).
12) 山下仁大, 濱上寿一, ニューセラミックス, **10**, 15 (1997).
13) P. Sarkar and P.S. Nicholson, *J. Am. Ceram. Soc.*, **79**, 1987 (1996).
14) 打越哲郎, *J. Soc. Inorg. Mater. Jpn.*, **8**, 478 (2001).
15) S. Hayashi and Z. Nakagawa, *J. Ceram. Soc. Japan, Suppl.*, **112**, S1135 (2004).
16) 濱上寿一, 金村聖志, 超微細パターニング技術－次世代のナノ・マイクロパターニングプロセス－第27章 電気泳動法を用いたマイクロパターニング技術, サイエンス&テクノロジ, pp.189-203 (2006).
17) J. Hamagami, K. Hasegawa, and K. Kanamura, *Key Engineering Materials,* **320**, 171 (2006).
18) J. Hamagami, K. Hasegawa, and K. Kanamura, *Key Engineering Materials,* **314**, 7 (2006).
19) J. Hamagami, K. Hasegawa, and K. Kanamura, *Key Engineering Materials*, **301**, 243 (2006).
20) J. Hamagami, K. Hasegawa, and K. Kanamura, *Key Engineering Materials*, **269**, 169 (2004).
21) J. Hamagami, K. Hasegawa, and K. Kanamura, *Key Engineering Materials*, **248**, 195 (2003).

一般論文

めっき法によるパラジウムオプティカル水素ガスセンサの作製と評価

濱上　寿一*1，森　将来*1，栗原　丈*2，髙田　雅介*2

Preparation and Characterization of Optically Readable Hydrogen Sensor Using Palladium Thin Films by Plating Processes

Jun-ichi HAMAGAMI*1, Masaki MORI*1, Joe KURIBARA*2, and Masasuke TAKATA*2

Abstract

We present a simple and effective preparation route of a palladium thin film, a candidate material for an optical hydrogen gas sensor operated at room temperature. In general, the Pd films were prepared on a glass substrate by radio-frequency magnetron sputtering. In this work the Pd films prepared by using electroplating and electroless plating processes exhibited a clear sensing response in optical transmittance in the presence of hydrogen gas at room temperature.

Keywords: Optically readable hydrogen sensor, Palladium thin film, Room temperature operation, Electroplating method, Electroless plating method

1．緒　言

石油を中心とする化石燃料系の大量消費に基づく地球規模での環境問題や石油資源の枯渇問題を一挙に解決するために，クリーンエネルギーである水素を利用したエネルギー社会への移行が切望されている[1,2]。すでに，日本国内においても水素を燃料とした燃料電池車や家庭用燃料電池の実用試験が一部ではじまっている。燃料電池車に水素を供給するための水素ステーションのインフラ整備も着々と進められている。一方，水素は無色，無臭，無味で人間の五感では感じ取ることができず，空気（酸素存在）中に4～75 vol%の水素が含まれた混合ガスに着火すると爆発するガスである。すなわち，水素はクリーンなエネルギー源として期待されている反面，可燃性・爆発性を有する危険なガスである。そのため，安全・安心な水素クリーンエネルギー社会を実現するためには，水素の漏洩を迅速かつ的確に監視するための高性能な水素漏れ検知センサの開発が望まれる。[3]

すでに実用化されている水素センサは接触燃焼方式[4]と半導体方式[5]が主なものである。前者の接触燃焼方式は，触媒燃焼の発熱にともなうわずかな素子の温度上昇を電気抵抗変化としての電気信号としてとらえることを原理としている。後者の半導体方式は，センサ材料表面が水素ガスによって還元されることで電気抵抗が変化することを電気信号として検出することを原理としている。これらの実用水素センサは，感度の向上とセンサ表面をクリーニングするため加熱（150 ℃から500 ℃程度）された状態で使用されている。ガス検知機構から水素以外の可燃性・還元性ガスに対しても感度をもつため水素の選択検知の観点から問題が残る。さらに，センサ材料と水素ガスとの化学反応に基づくセンサの電気抵抗変化を電気的にモニタリングするため，電気的な接点箇所が着火源となりうる。水素ガスを安全かつ確実に検知するため，室温作動，高選択性，非接触型な新しいタイプの水素センサの開発が望まれている。

われわれは新規な検知機構に基づくオプティカル水素センサに関する研究を遂行してきた[6-9]。オプティカルセンサは水素によるセンサ媒体の光学特性（光透過率や光反射率）の変化を発光素子（たとえば半導体レーザ）と受光素子（たとえばシリコンフォトダイオード）を組み合わせた光通信システムにてモニタリングし，水素ガスの漏洩を検出するものである[6-14]。代表的なオプティカル水素センサであるパラジウム(Pd)薄膜を用いたセンサ構造を図1に示す[8]。Pdセンサはガラス基板上に数ナノメートルから数十ナノメートルの透明なPd薄膜から構成されている。

平成19年３月26日　受理
*1久留米工業高等専門学校 材料工学科
*2長岡技術科学大学 電気系

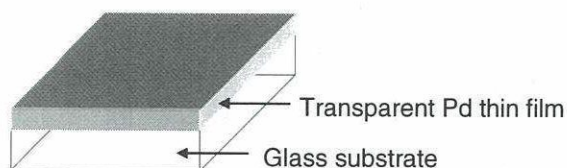



Fig. 1. Schematic illustration of optically readable hydrogen gas sensor using transparent Pd thin film.

Pdセンサは単純な構造をもち，室温でも水素ガスに対して十分に作動応答し，かつ水素に対する高選択性を兼ね備えたセンサである。これまでのPd薄膜の作製法としては，主に真空プロセスを用いる高周波マグネトロンスパッタ法を用いた研究が行われている[6-9]。スパッタ法は高価な装置が必要であり，成膜操作が複雑である。そのため，低コストでかつ環境低負荷型なプロセスでPdセンサを作製することが必要となる。

そこで，本研究ではPd薄膜の成膜法として環境低負荷型なプロセスであるめっき法を採用し，得られた薄膜試料がオプティカル水素センサとして機能するか否かを検討することを目的とした。めっき法はスパッタ法に比べ，低コスト，成膜操作が簡単であるなどの利点をもつ。めっき法として電気めっきと外部電源を用いない無電解めっきを用いた。めっき条件を最適化することで，電気めっきと無電解めっきを用いてPd薄膜を形成することができた。めっき法により作製されたPd薄膜の室温における光学特性は水素によって変化したことから，室温作動型のオプティカル水素センサとして機能することを明らかにした。

2．実験方法

Pd薄膜を作製するためのめっき法として，電気めっき法と無電解めっき法を採用した。電気めっき浴には安定なめっき浴として知られる塩化パラジウム（$PdCl_2$）水溶液を用いた。一方，無電解めっき浴にはセンシタイジング液（塩化スズ($SnCl_2$)水溶液）とアクチベーティング液（$PdCl_2$水溶液）による二液法を用いた。それぞれの実験方法を以下に述べる。

2.1 電気めっき法による薄膜試料作製

図2に電気めっきプロセスの模式図を示す。電気めっき浴は50 mlの蒸留水中に0.025 gの塩化パラジウム(II)

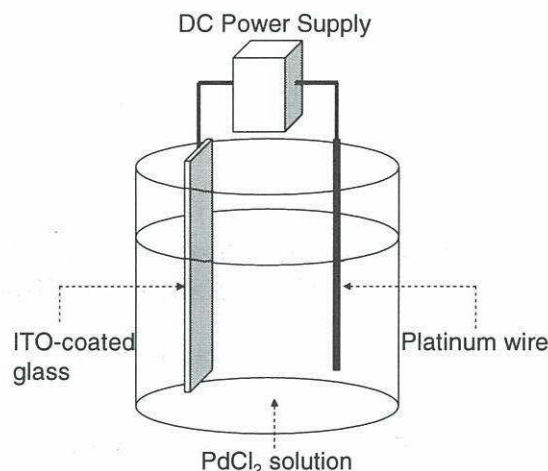



Fig. 2. Schematic diagram of electroplating method.

粉末（純度99 %，和光純薬工業製）を添加したものを用いた。$PdCl_2$粉末を完全に溶解させるために，塩酸を適量添加し酸性溶液とした。塩酸はめっき浴のpHが2.0から2.5になるように滴下した。Pd金属が析出する陰極には電子伝導性をもつITO（Indium-Tin-Oxide）ガラス電極基材を，また陽極には白金線を用いた。これらの電極をめっき浴に浸漬させ，定電圧めっきを実施した。電源には北斗電工製のポテンショスタット／ガルバノスタットHA-301Aを使用した。電気めっきは，印加電圧を0.5～4.0 V，めっき時間を2～10分と系統的に変化させて実施した。電気めっきの操作は常温常圧下にて行った。

2.2 無電解めっき法による薄膜試料作製

図3に外部電源を必要としない無電解めっき法による薄膜作製プロセスの模式図を示す。無電解めっきには，センシタイジング浴として塩化スズ($SnCl_2$)水溶液を用い，アクチベーティング浴として塩化パラジウム($PdCl_2$)水溶液を用いた二液法を採用した。

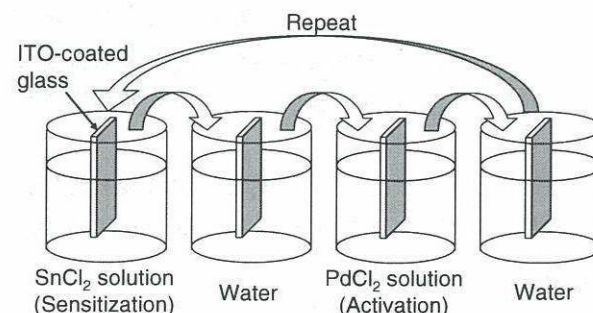



Fig. 3. Schematic diagram of two-step catalyzation for electroless plating.

まず，$SnCl_2$水溶液の調製は，50 ml蒸留水中に0.025 gの塩化すず(II)二水和物粉末（純度97%，和光純薬工業製）を添加した。塩酸を用いて$SnCl_2$水溶液のpHが2.0から2.5になるように調製した。次に，$PdCl_2$水溶液は前述の2.1で示した電気めっきの浴組成と等しくなるように調製した。薄膜形成の手順は，基板を$SnCl_2$水溶液に3分間浸漬させ基板を蒸留水中で洗浄した後，$PdCl_2$水溶液に3分間浸漬させ蒸留水中で洗浄した。この操作を所定の回数繰り返すことで無電解めっき膜を基板上に堆積させた。基板としては電子伝導性をもつITOガラスと電子伝導性をもたないスライドガラスを用いた。無電解めっきは常温常圧下にて実施した。

2.3 薄膜試料のキャラクタリゼーション

得られた薄膜試料の生成相と結晶構造の同定はX線回折法（Rint 2000, Rigaku）により評価した。測定条件はX線源Cu-Kα線（波長 0.15418 nm），加速電圧40 kV，電流200 mAとした。薄膜試料のX線回折パターンはICDD (International Center for Diffraction Data) カードを参考にして同定した。薄膜試料の可視光領域（波長：400 nm～800 nm）における光透過率スペクトルは紫外可視近赤外分光光度計 (V-570, JASCO) により測定した。また，試料の光透過率スペクトルのデータから，薄膜の膜厚を算出した。

2.4 水素ガス検知特性の評価

図4に薄膜試料の水素ガス検知特性を評価するための測定システムの概略図を示す。本実験では電気めっき法と無電解めっき法で作製された薄膜試料の透過光強度の経時変化をモニタリングすることでセンサ特性を評価した。薄膜試料は光の透過とガスの流通が可能な自作製の気密セル中にセットした。光源には，波長680 nmの赤色半導体レーザを用いた。試料を通過した透過光強度の測定には分光器一体型簡易マルチチャネルアナライザ (PMA-10, Hamamatsu Photonics) を使用した。セルに導入するガスは，乾燥空気と純水素ガス（純度99.995 %以上）を用いた。空気と水素は三方向バルブを調整することで交互に気密セル中に導入した。水素センサ特性の測定は常温常圧雰囲気において実施した。

3．実験結果及び考察

3.1 電気めっき膜のキャラクタリゼーション

均質な薄膜試料を得るために電気めっき法のプロセス条件（めっき浴のpH，印加電圧）の最適化を行った。その結果，めっき浴のpHが2.0，印加電圧が1.5 Vで均質なめっき膜を得ることができた。pH値の最適化は$PdCl_2$粉末の溶解と基板に用いたITO膜のエッチングを考慮しなければならない。印加電圧に関しては，Pd^{2+}/Pdの標準酸化還元電位が+0.987 Vであるため，それ以上の電圧を印加しなければ膜が形成されなかった。ただし，印加電圧を1.5 Vより高電圧にした場合，めっき浴中に黒色の物質が沈殿するため基板上への堆積量は著しく減少し，4.0 V以上の電圧においては基板上への堆積物は確認されなかった。これは，電極近傍で局所的にpHが変化したため，Pd

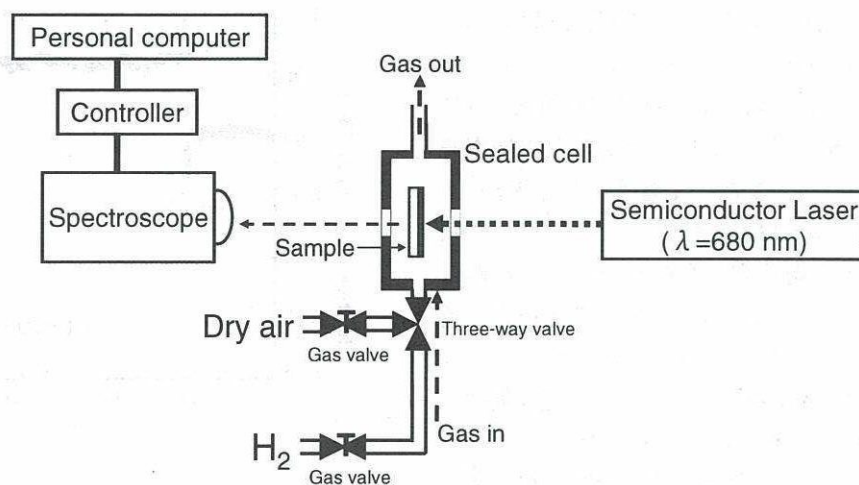



Fig. 4. Experimental setup for measuring the sensing property of optically readable H_2 sensor using Pd thin film.

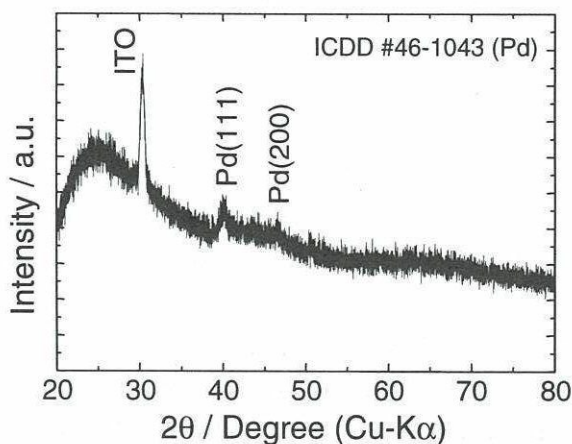



Fig. 5. XRD pattern of the sample prepared by the electroplating method.

Fig. 6. Optical transmittance spectrum in the visible region of the Pd thin film prepared by the electroplating method.

の水酸化物としてめっき浴中で核形成と結晶成長を起こし沈殿したものと考えられる。また，pH値(2.0)と印加電圧値(1.5 V)が最適な条件であれば，めっき時間を変化させることで膜厚を制御することができる。本実験では，めっき浴のpHが2.0，印加電圧が1.5 Vが最適条件であった。

図5に電気めっき法で作製された薄膜試料（めっき条件：pH 2.0，電圧1.5 V，時間180 s）のX線回折パターンを示す。2θ=40°と47°付近に面心立方格子であるPd(ICDDカード No. 46-1043)の(111)面と(200)面に帰属される回折ピークが検出された。また，2θ=30°付近の回折ピークと2θ=25°付近のハローは基板として用いたITOガラスに起因するものである。これらは，作製したPd薄膜が非常に薄いために検出された。以上のX線回折パターンの結果から，電気めっき法で作製された薄膜試料は金属Pdであることがわかった。

図6に電気めっき法で作製されたPd薄膜試料(めっき条件:pH 2.0, 電圧1.5 V, 時間180 s)の光透過率スペクトルを示す。これより，Pd薄膜は可視光領域(波長400 nm〜800 nm)において50%程度の光透過率を有することがわかった。また，光透過率の結果から，Pd薄膜の膜厚は5 nmと算出された。一般にバルク状の金属は可視光を透過せずに金属光沢を有するが，その膜厚をnmオーダーにすることにより可視光を透過するような透明金属膜となることがわかる。このような透明金属膜の光学特性（光透過率や光反射率）が水素により変化するか否かを調査した。

図7に電気めっき法で作製されたPd薄膜試料（めっき条件：pH 2.0，電圧1.5 V，時間180 s）の乾燥空気−水素に対する室温におけるセンサ特性(測定波長680 nm)を示す。縦軸は乾燥空気中におけるPd薄膜試料の透過光強度に対する相対強度を示す。"H_2 ON"の時点で乾燥空気から水素に切り換え，"H_2 OFF"で水素から乾燥空気に切り換えた。図7の結果より，セル内の雰囲気ガスを乾燥空気から水素に切り換えるとPd薄膜の透過光強度は増加し，約4秒で相対強度値が1.06で飽和した。次に，雰囲気ガスを水素から空気に切り換えると透過光強度は減少し，約24秒で水素導入前の値までほぼ回復した。この結果は，スパッタ法で作製されたPd薄膜を用いたオプティカル水素センサのガス検知特性と同じ挙動を示した[8]。

Pd薄膜の水素による透過光強度の増加は，(1)式のように金属Pdと水素ガス(H_2)との反応により水素化物（PdH_x）が生成したことに起因すると考えられる。

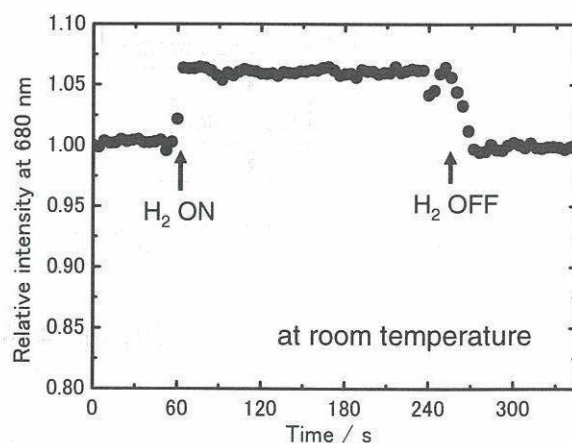
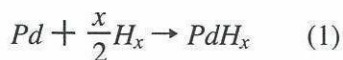
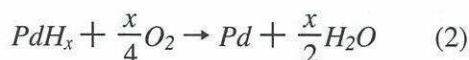



Fig. 7. Typical hydrogen sensing property of Pd thin film prepared by the electroplating method.

$$Pd + \frac{x}{2}H_x \rightarrow PdH_x \qquad (1)$$

また，雰囲気ガスを水素から空気に戻すことで薄膜試料の透過光強度が水素導入前の値まで回復するのは，(2)式のようにPdH_xと酸素ガス(O_2)が反応したことに起因するものと考えられる。

$$PdH_x + \frac{x}{4}O_2 \rightarrow Pd + \frac{x}{2}H_2O \qquad (2)$$

3.2 無電解めっき膜のキャラクタリゼーション

$SnCl_2$水溶液と$PdCl_2$水溶液の二液法を用いた無電解めっきにより，ITOガラス基板上に均質な析出物が確認された。二液法により堆積物が形成される反応メカニズムは以下のように考えられている[15]。

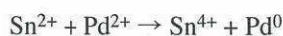
$Sn^{2+} + Pd^{2+} \rightarrow Sn^{4+} + Pd^0$

まず，$SnCl_2$水溶液に基板を浸漬させるセンシタイジング処理により，Sn^{2+}イオンが基板表面に吸着される。次いで，その基板を$PdCl_2$水溶液に浸漬させアクチベーション処理することでSn(II)化合物とPd^{2+}イオンの酸化還元反応によりSn(IV)化合物とPdからなる析出物が基板上に生成する[15]。このセンシタイジング処理とアクチベーション処理の操作を繰り返すことで堆積物の膜厚をコントロールすることができる。

図8に無電解めっき法で作製された薄膜試料（センシタイジング－アクチベーション繰り返し回数=40回）のX線回折パターンを示す。2θ=40°と47°付近に面心立方格子からなる金属Pdの(111)面と(200)面に帰属される回折ピークが検出された。2θ=30°付近のピークと2θ=25°付近のハローはITOガラス基板によるものである。また，Sn化合物に帰属される回折ピークは検出されなかった。以上の結果から，無電解めっきで作製された試料には金属Pdが含まれていることがわかった。

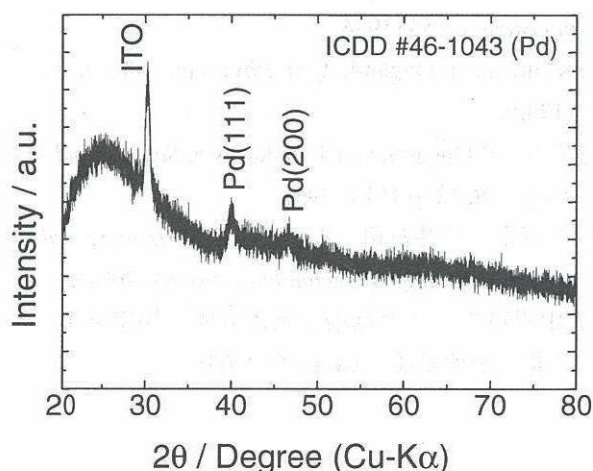



Fig. 8. XRD pattern of the sample prepared by the two-step catalyzation for electroless plating.

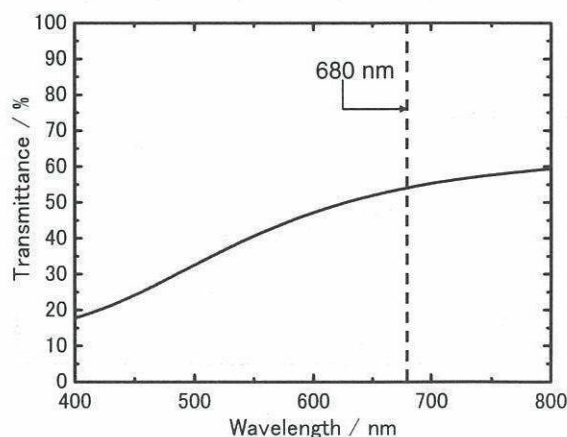



Fig. 9. Optical transmittance spectrum in the visible region of Pd thin film prepared by the two-step catalyzation for electroless plating.

図9に無電解めっき法で作製されたPd含有薄膜試料(繰り返し回数=40回)の可視光領域における光透過率スペクトルを示す。得られた試料は可視光を透過する透明膜であることがわかった。これは，前述した電気めっき膜の光透過率スペクトル(図6)の挙動とは異なっていた。すなわち，短波長になるにしたがい，試料の光透過率は減少することが確認された。この光透過率の減少は，薄膜表面の凹凸による光の散乱に起因すると考えられる。また，光透過率の結果から堆積物の膜厚は6 nmであることがわかった。

図10に無電解めっき法で作製されたPd含有薄膜試料(繰り返し回数=40回)の乾燥空気－水素に対する室温におけるセンサ特性(測定波長680 nm)を示す。縦軸は乾燥空気中におけるPd薄膜試料の透過光強度に対する相対強度値を示す。"H_2 ON"の時点で乾燥空気から水素に切り換え，"H_2 OFF"で水素から乾燥空気に切り換えた。図10の結果より，水素によってPd薄膜の透過光強度が変化することがわかった。Pd薄膜の透過光強度はセル内の雰囲気ガスを乾燥空気から水素に切り換えると減少し，約50秒で相対強度値が0.91で飽和した。また，雰囲気ガスを水素から空気に切り換えると透過光強度は増加し，約60秒で水素導入前の値までほぼ回復した。無電解めっき

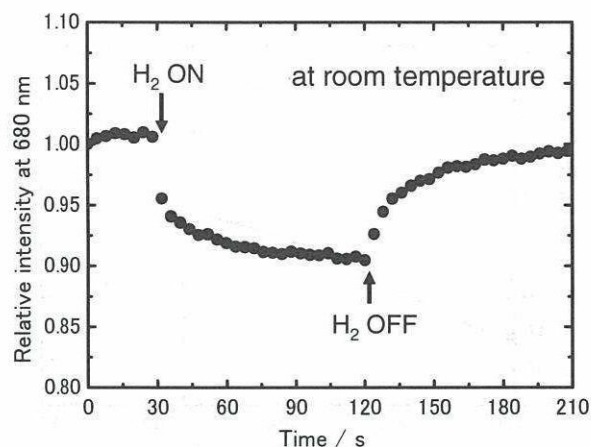



Fig. 10. Typical hydrogen sensing property of Pd thin film prepared by the two-step catalyzation for electroless plating.

法で得られた薄膜試料の水素に対する応答・回復特性は，スパッタ法[8]や前述の電気めっき法により作製されたPd薄膜のセンサ特性とはまったく異なる挙動を示した。この応答・回復特性の違いは，二液法におけるセンシタイジング処理($SnCl_2$水溶液)時に薄膜中へのスズの混入が原因であると考える。これは，二液法で作製された膜が純粋なPd金属のみから構成されているものではないことを意味するものである。すなわち，センシタイジング処理によりX線回折測定では検出されないアモルファス状のSnを含む化合物が薄膜中に含まれていることが推測される[15]。そのため，電気めっきと無電解めっきで作製された膜の光透過率スペクトルと水素ガス検知特性に違いが見られたと考えた。

4．結　論

電気めっき法と無電解めっき法(二液法)を用いてパラジウム(Pd)薄膜型オプティカル水素センサ試料を作製し，室温におけるセンサ特性（測定波長680 nm）を調査した。めっきプロセスの条件を最適化することで，ITOガラス基板上に均質な透明金属膜を形成することができた。X線回折パターンより，作製された薄膜試料は金属Pdを含んでいることがわかった。試料の膜厚をナノメールオーダーにすることで，可視光を透過する透明膜(波長680 nmにおける光透過率が50%)を作製した。得られた試料を水素に晒すと，その光透過強度が変化した。電気めっき法の試料では水素により透過光強度が増加するのに対し，無電解めっきの試料では透過光強度が減少した。以上の結果より，電気めっき法と無電解めっき法で作製されたPd薄膜試料は室温作動型のオプティカル水素ガスセンサとして機能することを明らかにした。

謝　辞

本研究の一部は，長岡技術科学大学学長裁量経費による研究助成(C)「高専との共同研究」（研究代表者：高田雅介教授）の補助を受けて実施されたものである。

参考文献

1) 太田健一郎，石原顕光，*表面技術*，**56**，p.170 (2005).
2) 西丸三善，*表面技術*，**56**, p.177 (2005).
3) 福井清，*表面技術*，**57**，p.244 (2006).
4) 中島清士，岩崎信一郎，*オートメーション*，**21**，p.21 (1976).
5) T. Seiyama, A. Kato, K. Fujiishi, and M. Nagatani, *Anal. Chem.*, **34**, p.1502 (1962).
6) J. Hamagami, Y. S. Oh, Y. Watanabe, and M. Takata, *Sensors and Actuators B*, **13-14**, p.281 (1993).
7) Y. S. Oh, J. Hamagami, Y. Watanabe, and M. Takata, *Sensors and Actuators B*, **13-14**, p.547 (1993).
8) Y. S. Oh, J. Hamagami, Y. Watanabe, M. Takata, H. Yanagida, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **101**[6], p.618 (1993).
9) J. Hamagami, B. Huybrechts, Y. Watanabe, and M. Takata, *Ceramic Transactions*, **43**, p.331 (1994).
10) M. A. Butler, *J. Electrochem. Soc.*, **138**, L46 (1991).
11) K. Ito and T. Kubo, *Proceedings of the 4th Sensor Symposium*, p.153 (1984).
12) K. Ito and T. Ohgami, *Appl. Phys. Lett.*, **60**, p.938 (1992).
13) K. Ito, T. Ohgami, and T. Nakazawa, *Sensors and Actuators B*, **12**, p.151 (1993).
14) 朝野章，今井裕司，*Research Reports of Sendai National College of Technology*, No. 34 (2004).
15) 山岸憲史，八重真治，岡本尚樹，福室直樹，松田均，*表面技術*，**54**, p.56 (2003).

一般論文

一向一揆の心性と本願寺蓮如（三）

松尾　一

The Idea of the ikko-ikki and Religious Activities of Hongwanji Rennyo

Hajime MATSUO

1．〈鄙〉での蓮如

留錫地の賑い

寛正の法難により蓮如は，本願寺の故地東山大谷を後にし，近江から北陸を彷徨した。1465（寛正６）年より，1479（文明12）年に山科に坊舎を再建するまでの十数年間にわたり本願寺という寺院は建造物としては地上から消滅することとなる。ところが，本願寺は消滅し彷徨を余儀なくされたが教団は成長を遂げた。

彷徨の期間，蓮如は都から鄙へと活動の場を移すのであるが，現象だけで言えば，蓮如が訪れる先は，参詣の人びとで賑った。寛正の法難の年から３年間，宗祖親鸞の祥月命日法要である「報恩講」は，近江の湖南で勤められるが，栗太郡一帯の坊主と門徒の与力により執り行われたと「金森日記抜」は伝える。隣地である守山の比叡山山徒日乗坊の動きを警戒しながら，荒見（現守山市），赤野井（野洲町），手原（栗東）辺りの坊主，門徒への教化を行なった。寛正の法難で，山徒の発向・破却により受け寺基を失った蓮如であるが，意外にも，叡山の膝下で積極的に活動していて，その留錫地が門徒・坊主の参詣で賑わったことが分かる。

では，各地域において蓮如はどのような活動を行ったのかが興味が持たれる。ただ，近江で活躍した時期の蓮如を考える場合に厄介なのは，「御文」・「正信偈・和讃」・「報恩講」という，蓮如が戦国期以降の本願寺教団として定立させた聖教，儀礼はいまだに始まっていない点である。

この時期に人びとは何を蓮如に求めて参詣してきたのであろうか。近江において判明している蓮如が特徴的な門徒教化とは，本尊・御影を本願寺流に改めることである。すなわち，「帰命尽十方無碍光如来」の名号へ光明を配した「無碍光本尊」と，親鸞の影像宗祖像として下付したことである。宗祖像として下付された「御影」には，一幅の中親鸞と蓮如が列するという，いわゆる「連座御影」にもあった。そいて，「本尊」・「御影」にも，「裏書」と呼ばれる，下付物の内容，願主の在所・名前，下付した「宗主」の花押が据えられた一種の証明書が添付された。

おそらく蓮如は，宗祖御影を帯同して近江の各地を巡回し，宗祖へ結縁しようという坊主・門徒で留錫先は賑わったものと考えられるが，単純に本願寺の御影堂に安置している「根本之御影」・「生身之御影」と呼ばれる宗祖「真影」の巡回・結縁というわけにはいかない。

（注）以下，特に断らない限り，引用史料は，堅田修編『真宗史料集成』第2巻　1977年　同朋舎出版，加能史料編纂室編『加能史料』Ⅰ～Ⅳ（2002～2006年）による。

「御影」下向への「御崇敬」

本願寺という寺院を支える「根本の御影」あるいは「生身の御影」と呼ばれる親鸞影像は，寛正の法難により，東山大谷から京金宝寺に避難し，応仁元年に堅田本福寺，文明元年に三井寺南別所へ仮に安置するまで，まさに彷徨した。この間に，「真影」が法要・儀式に使用されたと確認できるのは，応仁元年11月の「報恩講」であり，堅田本福寺で勤修された。

応仁年の「報恩講」が堅田で勤修されたということは意味深長である。一般には，この年の３月に叡山の大衆の「衆議」により本願寺は赦免され，末寺銭を納めることで寛正の法難が一段落し，本福寺でようやく「真影」を迎えて「報恩講」が勤修できた

平成19年３月26日　受理

とみる。確かにその通りなのであるが，大切なことを一点忘れている。この時期近江坂本には，専修寺真慧も留錫し，妙林院にあって諸国門徒に対して番制をしいて護持を命じ，いわば西国進出の拠点を建設しようとしていたのである。

事実，真慧は，寛正５年に叡山大衆から高田門徒（妙林院）は攻撃しない旨の「衆議状」を得ており，本願寺一流との分別が無事に達成された首尾を「案文」を作成し門末に報告している。また，寛正６年７月５日に三河上宮寺へ充てた真慧の「書状」により判明することは，高田門徒は「もとより別祖相承」と法然門下であると主張していることからみても，蓮如による本願寺門徒の親鸞（聖人）一流の殊のほかに強調したことが，真慧には不快に感ぜられたわけであろう。

とすれば，本願寺蓮如の立場とすれば，叡山から「邪宗門」というレッテルを貼られることは，対顕密仏教対策もさりながら，同じく真宗という同門にありながら，それぞれ「高田」，「仏光寺」の「一流」を主張した，つまり蓮如からみた「異流」にたいしての15世紀仏教界における「公認教」争いを左右する重大事であったと思われる。つまり，寛正６年の「報恩講」を勤修する際の蓮如の念頭に，坂本妙林院にある真慧の存在を考慮にいれても瑕疵は少なかろう。従って，堅田において親鸞「真影」を対しての「報恩講」が，まさに「御影下向」へ近江湖西・湖南の坊主・門徒が結縁する機会となったのである。しかも，本福寺は蓮如以前において本願寺末を離れ仏光寺に入門したのであるから，湖西から北国街道に掛けて一大門徒団を有する本福寺への「御影下向」と「報恩講」勤修は，本願寺帰参を確定する好機でもあったわけである。

親鸞「真影」の近江への「御影下向」と呼びうる法要は，寛正６年「報恩講」のみであるが，では金森を中心とする湖南地域においては「御影」への崇敬は行われなかったのであろうか。確かに，本願寺の「根本の御影」とか「御真影」と呼ばれる親鸞「御影下向」はなかった。だが，それなりの「御影」への崇敬は行われたと推定しうる。「根本之御影」・「御真影」に准ずる「御影」，「安城の御影」の存在である。

これは蓮如が寛正６年の「報恩講」を金森で勤修するが，金森には「根本之御影」・「真影」は下向していないはずであるが，しかし，親鸞の祥月命日法要である「報恩講」において「御影」は帯同していたはずである。それぞれの道場・寺院に安置していた「御影」を利用するというわけにはいかない。というのは，各道場・寺院に下付された本尊・御影には，「願主」が記されているから，簡単に転用する性格のものではない。

とすれば，15世紀後半の本願寺の所有する法宝物において「真影」に代替しうる「御影」は，「安城の御影」と呼ばれる，親鸞八三歳の寿像と伝えられる影像がこれに当てられる。近江で活動する時期に「安城の御影」を蓮如が帯同したのではないかと推測しうる根拠は，寛正２年と文明12年の二回にわたり修復した事実からである。実際に本願寺の教線は，こと湖南に限ってみても，金森道西に「正信偈大意」，手原幸子房に「三帖和讃」といったように授与しており，確実に伸展しているものと考えられる。

故に，金森で勤修された「報恩講」は，本願寺と門末という関係においては，法難により本願寺が落ち延びて，避難先で辛うじて宗祖忌日を勤めるということではなく，本願寺から「御影」が下向してくるという「祝祭」的意味合いがあったと考えられる。とすれば，「真影」に変わりうる宗祖「御影」は「安城の御影」が当てられ，下向前後に「修復」あるいは「副本」が制作され，蓮如の近江行きに帯同されたものと考えられる。

というわけで，蓮如留錫は親鸞「御影下向」の意味もあり，各地で坊主・門徒で結縁し，本願寺一流への帰参意識を高めていったものと推測できる。

吉崎へ，「蓮如」来る

文明３年の加越国境に位置する吉崎への蓮如留錫も，北陸における坊主・門徒の群集をもたらし，吉崎は空前の賑わいとなった。例えば，文明５年春に「品性卑しからぬ女性の主従」の吉崎参詣を主題とした「御文」は，「後生の一大事」に功徳のありそうな念仏をすすめに，京都から下向している上人がいる，しかも風光明媚な景勝地吉崎へ「われも参詣せん」と，とりあえずやってきて，当流の念仏の肝要を聴聞し，喜悦の涙に咽んだ，と記している。この「御文」では，庶民のまさに吉崎参詣を「当流念仏」にふれる「縁つくり」ととらえた。

この吉崎における蓮如の活動の中で興味深いのは，近江においては，「御影下向」とそれへの坊主・門

徒の結縁に伴う祝祭的性格が強かったのであるが，吉崎においては，「参詣」へ，真宗的というか本願寺流の意味を添付しようとする方向へ変化しだす。

吉崎へ留錫当初の蓮如は，本願寺門徒に限らず吉崎へ参詣する「群集」を，「当流の念仏」へ接するための，いわば「縁つくり」のように考え，物見遊山的な参詣も歓迎していた節がある。ところが，この姿勢は文明５年８月頃には，「不信の輩」の吉崎参詣を停止する方向に変化しだす。

この蓮如の動きは，山間部の山内庄に逼塞していた冨樫政親が，北加賀の蓮台寺城に拠点を置く幸千代と対峙しようと打ち出しと，冨樫政親方に与している本願寺門徒の拠点である吉崎も戦火に遭遇することが予測された。開創された間もない吉崎坊舎は，加賀守護家の分裂・軍事的対峙へ，本願寺教団として介入することを契機に城郭化していくこととなる。すなわち，吉崎を拠点とした本願寺門徒を中心として軍事勢力が形成されたわけである。武装化門徒団の事態に対して，蓮如は武装化が仏法の本位ではないとしながらも已む無しとし，積極的に坊舎および周辺の「要害」化をすすめた。

ここに至って蓮如は，どういうわけか，吉崎へ群集する坊主・門徒に対して「信心」のありようを問いた出し始める。考えようによれば，「当流の信心」を問い糺すことにより，本願寺教団という組織の引き締めをはかろうとした，とみることもできる。

２．蓮如流の「念仏のご利益」とは，「末代無智」の人びとの「後生の大事」 ―「信心」による極楽往生―

蓮如が説いた念仏の肝要とは「後生の一大事」ということにつきる。ただ注意しなければならないのは，当然に真宗も含め中世日本に隆盛を極めた浄土教は，死後の極楽浄土への往生を人に説きすすめるわけであるから，おなじ「後生の一大事」をどのように，つまり「ヒトウケ」するように説いたかである。「後生の一大事」に対する本願寺流の「効能」をどのように，人びとの口にのぼせたかである。

蓮如の説法を聴聞した門弟のなかで，真宗念仏の信心ぶりが判明する人物は何人もいるわけではない。稀有な一例として，「本福寺跡書」と「金森日記抜」は，寛正の法難から，金森蜂起，堅田大責に至る坊主・門徒の動きを記録し，その真宗念仏のあり方を窺わせる記述を残した。

「本福寺跡書」は本福寺法住は，比叡山大衆の堅田発向を回避するために，根本中堂において大衆を前にして行った弁明の陳述内容を伝え，法住の「名号」観が端的に現れている。「金森日記秡」が伝える叡山大衆の「牒状」は，本願寺蓮如が「無碍光と号し，一宗を建立し，愚昧の男女に勧め，卑賤老若の間に示し，在々所々，邑里閭巷に，群れをなし党を結ぶ，あるいは仏像経巻を焼失じ，神明和光を軽蔑し，邪路の振舞は眼を遮し，放逸の悪行は耳を盈す，且仏敵なり，且神敵なり」と論難している。

これに対し，本福寺法住は，「無碍光本尊」を帯同し叡山大衆の前で指図しながら，本願寺門徒が依用する本尊が，邪宗門を意味するものではなく，山門からみても「邪法にあらず正法」であるという旨を述べたという。これは，叡山の論難の中心である「無碍光」疑惑が，本願寺門徒が使用する「帰命尽十方無碍光如来」という十字名号に光明を配した「無碍光本尊」に対したものであったからである。

具体的には，世親の『浄土論』の「世尊我一心，帰命尽十方無碍光如来，願生安楽国」を典拠にし，「無碍光本尊」の由来を述べたのであるが，この法住の陳述で大切なのは「下根最劣の在家止住の一文不知の愚智の男女，出家清浄の上根の修行においては，輙からずと心得，弥陀の教に憑みを懸く」とした件である。この主張は，後に蓮如が「御文」で説法する「末代無智」章と同範疇であり，凡夫と自覚を促される庶民を救済（この場合は極楽往生の保障）する阿弥陀仏の十八願への「報恩謝特」としての，「命のあらん限りの称名念仏」（「帖内御文」５帖１通）と位置付けられる。

「本福寺跡書」が伝える堅田法住の「陳述」によれば，「末代無智」の凡夫である庶民の「後生の一大事」を，阿弥陀仏の第十八願への「信心」により救われるのだ，と領解していたことがわかる。

「平生業成」 ―日ごろはあり難く「お念仏」―

本願寺蓮如の宗教運動に結縁した坊主・門徒は，「末代無智」の凡夫である私たちの「後生の大事」は，阿弥陀仏の第十八願への「信心」により間違いなく極楽往生が保障された，と自覚しえた。では，蓮如が説く「後生の一大事」という人間の大問題が

解決した坊主・門徒は，「信心獲得」後は，どのように過ごしたらよいのであろうか。

蓮如はこのことについては，「一念発起入正定之聚」あるいは「一念発起平生業成」と繰り返し説いている。では，「正定聚」あるいは「平生業成」とは，どのような教えなのであろうか。真宗でいう「正定聚」は，一般的に正しく仏になることが決定しているなかま，そして，信心をいただき往生が決定するのは臨終の時ではなく，日常という普段（現生＝平生）であるので「平生業成」と説明する。

蓮如は，「御文」において「現生正定聚」＝「平生業成」をさらに具体的な門徒の日常生活においての位置付けも試みている。「御文」が本格的な布教の手法となる以前の応仁２（1468）年４月，近江で認めたと考えられる「オホヨス当流ノ勧化ノオモムキハ」章に端的に現れる。ここで蓮如は「平生業成」を「をのをののすかたにて，アキナヰヲするものアキナゐしなから，奉公するものは奉公しなから，さらにそのすかたをあらためすして，不思議の願力を信すへし」と説いている。

つまり問題となる「信心獲得」後のあり方については，日常生活の繰り返しでよいということになり，肝要なのは，阿弥陀仏へ報謝の「称名念仏」を怠らないことだ，というのである。商人は商人，武士は武士という，それぞれに与えられた「身分」に応じた生活を滞りなくすすめる日常において，仏への「報恩謝徳」の称名がたえなければよい，これが，蓮如の言う「平生業成」の日常生活ということになる。

「世間通途」と「王法為本」
— あとは「仕来たり」通りに生きる —

信心をいただいた後は，自らの職分，境涯に忠実に従って生きればよい，と蓮如は坊主・門徒に指示したわけである。ところが，「日常においては，そのままでよい」という教えは，教誨を受ける身ともなれば，如何ともしがたい，よくわからない生き方の指示である。つまり，はっきりとした決め事や規則に従った念仏生活をいうわけではないから，「平生業成」の受け止めは，それぞれの坊主・門徒の受け止め方により，かなりの幅が生じたことと思われる。つまり，受け止める坊主・門徒が，どのような社会的な属性をもっているかで，「平生業成」における「平生」の持つ意味が大きく変化することとなる。蓮如にとっての「平生」あるいは「世間」とは，どのような内容をさしたのであろうか。

このことを考える前提となるのは，本願寺とその宗主の中世寺院社会での地位である。確かに，15世紀後半においての本願寺は，後世の大教団からみれば，あるいは顕密仏教諸宗の大寺院からみても，蓮如が生を受け成長した時期の本願寺は，確かに卑小な存在であったのかもしれない。ところが，中世社会のなかで歴代の本願寺宗主は，広橋・日野家の猶子として青蓮院門侶となり，また，初期本願寺において覚如は，北野天満宮で催される連歌会を通じて中下級公家と交遊していた。

さらに，蓮如の時期には，日野一流の本宗家である日野重光や妹冨子との親交があり，蓮如の内室は伊勢氏の産であった。また，蓮如の時期に本願寺は，「勅願寺」を名乗り，僧綱からは「法印・権大僧都」をえていた。どうみても，中下級とはいえ貴族を出自とする顕密仏教の一寺院としての面目は整っている。そして，問題の時期である蓮如の応仁・文明乱中の政治的立場は，論議する間もなく日野冨子との関係から足利義政・義尚方で，かつ細川政元とも入魂であった。事実，文明十二年には，完成近い山科坊舎へ日野冨子が参詣していて，蓮如の政治的立場は頗る明確である。

そして，日野一流の顕密寺院における一僧侶としての蓮如の立場から，本願寺が説く「平生業成」による生活の具体像は，「王法為本」論と呼ばれる。蓮如が言う「王法」とは，即決的に国家権力を指し示すのでなくて，ひろく「世間」・「仕来り」・「秩序」・「慣習」といった語句で表現される「社会秩序」を意味していた。つまり，「王法為本」とは，世間の仕来り・慣習に従って生きる，ことを本願寺門徒の「たしなみ」とせよという教示である。

この世間の秩序・仕来り・慣習に従って行動せよという「王法為本」説は，加賀文明６年一揆の形成をめぐり出現した教説であり，本願寺教団においての坊主・門徒が現実の政治状況へ対処していく際の行動原理として，蓮如が「王法為本」を説いた後の真宗史に多大な影響を与えた。

そして，文明６年一揆に臨んだ蓮如が説く「王法為本」とは，「柳本御文集」および「浄得寺御文集」に伝える文明一揆に対する蓮如の説法を伝えるところによれば，このたびの「一国の土一揆」は，「百

姓中」になされた「御奉書」を受けての「私ならぬ次第」による戦闘行動であるという。つまり，一揆による冨樫幸千代方の退転は，「王法仏法」のなせる結果であるとし，いわば「王法為本」に一揆であったというのである。

蓮如は応仁・文明の乱に当たり，日野一流という成り行きから東軍方となり，加賀では冨樫政親の支援にまわった。まさに，「平生＝日常」において，それぞれの身分をまっとうしたわけであり，信心の後は「王法」に従って行動したわけである。蓮如による「王法為本・世間通途」の教示は，自身は中世寺院社会に身を置く宗教領主として「王法」「世間」を意識したわけであるが，蓮如からの説法を受けた多くの坊主・門徒は，村落に身を置く武士・農民であった。このため，在地における坊主・門徒が受け止めた「王法為本」説は，意外な効果と結果をまねいて行くのである。

3．門徒は蓮如に何を求めたか
「土一揆」とみなされる
— 文明6年加賀一揆は「王法為本」の一揆 —

文明6年加賀一揆は，本願寺門徒は蓮如の指示により冨樫政親支援の軍事勢力として行動する。蓮如は，「御文」においてこの門徒の冨樫幸千代に対する軍事蜂起を「一国之土一揆」と評価したわけであるが，土一揆と見なす根拠はどこにあったのであろうか。

文明6年一揆については，大乗院尋尊は「一向宗土民と侍分確執す，侍分ことごとく土民方よりをもって国中を払われ」た（『大乗院寺社雑事記』）と認識し，白山宮は「念仏衆，高田本願寺の国民これを諍う」（『白山宮荘厳講中記録』）とあり，白山と同じく幸千代方についた「高田土民」と合戦があったとしている。また，五山僧景徐は，「一向宗と号し，蟻聚烏合し，諸宗を廃毀し，もって己党を為し，これに加えて守吏を殺掠す，賦歛を剽奪す。」（『翰林葫蘆集』）と本願寺を「無碍光の流亜」であるとしている。大方，蓮如の同時代人も一向宗・本願寺を主体とした「土一揆」とみなしていたと考えてよかろう。

これらの諸記録で共通するのは，土一揆の性格を，冨樫幸千代・高田専修寺門徒と冨樫政親・本願寺門徒の対立・抗争である，と受け取っている点である。しかも，蓮如は「御文」で公然と，文明6年一揆を「謀叛」，従って「土一揆」としながらも，幸千代・高田からし掛けて来た「悪行」に対応した「道理至極」の行動であるというのである。しかも，室町将軍足利義政からの「百姓中へ御奉書をなされ」ので，この一揆は，「私ならぬ次第」であるという。つまり，「王法為本」の一揆であるというのである。

実際に，室町将軍から冨樫政親支援を依頼する「奉書」が，直接に加賀の本願寺門徒に対して出されたかは不明である。ただ，『金言和歌集』の序に近江・美濃・三河・越前・加賀・能登の守護代・国人が押領した寺社本所領回復の「御教書」・「奉書」がなされたが下知に従わなかった，とある。実際に室町幕府はこの時期に「寺社本所領回復」の下知を出しており，幸千代方を寺社本所領の押領主体とみなし，「私ならぬ次第」として蜂起に及んだと，蓮如が読み替えたものとも推定できる。

では，冨樫政親は，一揆勢の支援により，守護職として加賀一円支配を実現に向かえたのか，といえばそうではない。敗れ蓮台寺城の陥落により加賀を退去した幸千代や敗死した守護代額熊夜叉らの勢力が支配していた村落へ支配の手を伸張することを含め，一揆による地域支配の実現に向かいだした。また，同時に敗れた高田門徒勢力を駆逐することにより，「村の念仏」を本願寺流へ「浄化」しようとしだした。

文明11年に能美郡に存在する那谷寺周応と「額田惣荘」は，同荘内「得丸名」の所有をめぐって渡辺四郎と争論を起こし，本所領主である中院家の裁定を仰ぐために「言上状」を作成・提訴した。「言上状」によれば，渡部四郎の文明6年参加は得丸名「知行」のためであるという主張に対して，那谷寺周応によれば「惣荘」の一揆参加は，「仏法のための弓剪」であるから，「知行」のための合戦であるという渡辺方の主張は退かれるべきである，というのである。

この文明6年の一揆（一乱）は，「仏法のための弓剪」であるから，一揆を「知行」拡張に利用する渡辺方は非法であるという周応と「惣荘」の訴えに対し，反訴はなかったようであり，那谷寺周応と「惣荘」側の主張が通ったとみられる。ここで興味深いのは，文明6年一揆に対し，那谷寺周応をして主張される「額田惣荘」の意見と，蓮如の主張が共通するということである。文明6年における一揆蜂起の

正当性の主張が，「知行」の安堵や獲得のための合戦ではなく「仏法」のためという点は注目しなければならない。

つまり，文明6年一揆後の加賀では，政親方についた一揆勢力による惣荘村落の支配と，「村の信仰（念仏）」の本願寺門徒化という事態が二重に進行していった。では，仏法のための一揆とは，どのような現実をいうのであろうか。

「徳政」を要求する
— 文明7年加賀一揆の内幕 —

文明6，7年加賀一揆に対し同時代人は一向宗あるいは本願寺門徒の「土一揆」であるという認識に立ったわけであるが，あるいは一揆の側の蜂起の論理は「仏法」のための合戦と位置付けたわけである。では判明する「一揆」行動からも，つまり，一揆研究という視点から見ても，「これは土一揆」，「仏法のための合戦」だと認識しうるのであろうか。文明6年一揆に引き続いて形成された文明7年一揆については，一揆の具体的な行動・要求と推定できる記録が残されている。

文明7年加賀一揆について，『鎌倉大日記』は，「六月，加賀国土民（本願寺門徒）一揆起こり，寺社など兵火なし炎上す」と記している。また，『白山宮荘厳講中記録』は，「国民など本願寺を威勢にほこり，寺社の領知所免田の年貢を無沙汰す，すなわち神事並びに勤行など退転に及ぶ，先代未聞・言語道断の次第なり，随って武家の威勢もなきがごとし」と伝えている。あたかも，蓮如が文明6年2月17日の「御文」で戒めた，「守護・地頭にむきても，われは信心をえたりといひて粗略の儀」を行うな，という行動を一揆勢力が実際に行ったとも受け取れる。

さらに蓮如自身は，同年5月7日付の「御文」で，門徒中に宛てて「十の篇目」を定めた。蓮如は，文明6年一揆は「加州一国の武士等無理に当山を発向すべきのよし沙汰」のものとし，止むを得ないことと改めて表明するが，その後において本願寺門徒は「王法為本・仁義為先」・「不軽神明（神祇崇敬）」・「我執振舞の自制」という「当流にさだむる所の掟」の遵守を説く。つまり，以後の「王法為本」でない一揆は禁制したとみてよい。ところが，蓮如の教誨にも関わらず文明7年一揆は蜂起した。

蓮如は，文明7年4月28日付けの「御文」で，拡大しつつある坊主・門徒の一揆行動に対して，一揆を仏法の領分に従って判断していない，いわば世間の価値に追従した行動であるとして，一揆に参加した人々を「不信」の輩すなわち「聖人の御罰を蒙った姿」であると避難した。そして蓮如は，具体的に一揆による合戦が行われたと考えられる7月に至ると，「お叱りの御書」と呼ばれる書状を一揆に与した坊主・門徒中に与え，一揆自体を禁制する段となった。

ここに及ぶと文明6年以降において，蓮如は一揆の抑止，門徒は一揆の拡大という相反する事態が生じたことが判明するが，蓮如は本願寺門徒のどのような一揆行動を抑止・批判したのであろうか。7年一揆直後の7月4日，21日付の「お叱りの御書」では，「諸門下悪行を企て」（「専光寺文書」・「光徳寺文書」），「当国中の門徒の面々，事の外に国中において乱妨いたす」とあるが，「悪行」・「乱妨」の内容までは詰問していない。

一揆が落着した12月19日の能美郡本蓮寺宛の蓮如「書状」には，6箇条にわたり具体的な「種々の乱妨狼藉」の内容が記され，以後に「張行せしむの輩」は門徒を放つと警告している。（「粟津家記録」）蓮如が問題とした「乱妨狼藉」とは，（1）徳政，（2）人質，（3）社寺仏閣の破却，（4）無咎の寺庵への煩懸，（5）預物と号す諸公事の沙汰，（6）年貢の無沙汰，である。

おおよそ『白山宮荘厳講中記録』が伝える一揆行動と共通する内容が蓮如から問題にされていることがわかる。「徳政」を文明7年一揆が要求したことについて，蓮如は批難したことの意味は，一揆の行動を，蓮如が中世後期社会で起こる「土一揆」・「徳政一揆」と等質と見なしたという点である。少なくとも，文明6年一揆が守護職家である富樫の内紛に，正親方として介入するといった「領主間戦争」の側面が存在するのに対し，7年一揆はまさに「土一揆」であった。

蓮如は，文明6年一揆を「わたくしならぬ」次第による「王法為本」の蜂起だとしたが，文明7年一揆はまさに「悪行」による「乱妨狼藉」であると認識したわけである。ただ，中世後期社会において不当な要求とはいえない「徳政」要求を，蓮如は「悪行」と指弾したわけである。蓮如が「悪行」という「徳政」については，蓮如の文言からだけでは，一揆が求めた「徳政」が何であったのかが不明瞭であ

る。従って，蓮如の物差しから「悪行」にあたる具体的な「徳政」要求行動とは，どのような中身であったのかが気になる。

長享一揆まで
—「寺社本所領還付」の主張と村の門徒化 —

文明9年12月9日に大乗院尋尊は，「天下のこと。さらに以って目出度これなし」と，加賀・能登をはじめとする金語句からの年貢が，足利義政からの下知に従わず「一向不進」であると記している。文明7年一揆以降の加賀の状況を全般的に記したものと判断できるが，尋尊が同年の末に諸国の守護を雑記した際に，加賀の守護は富樫政親であると認識したにもかかわらず，一揆による地域支配が進行していたわけである。

これは，文明7年による戦闘行動は，一国の支配権をかけ片方の本拠地を攻防するというような6年一揆が大規模なものではなく，各地における小競り合い的戦闘であったものと予測されている。いわば，惣荘村落の一揆による支配の実現，本願寺流の「村の念仏」の実現の過程であった。

そして，この時期の加賀においては足利義政から「寺社本所領還付」の下知が下されているが，この下知を在地の実効支配にむかう一揆＝本願寺門徒勢力はどのように受け止めたのであろうか。元よりの一揆勢の足利義政への姿勢は，文明6年一揆蜂起の正当性の主張は，室町将軍からの「奉書」による「私ならぬ次第」の一揆であったから，当然に「寺社本所領」を回復するという，当然すぎる建て前があった。

よって，惣荘村落の掌握に当たっても「寺社本所領還付」のためという，ある意味において村落における秩序の維持・回復という，蓮如の言う「王法為本」という世間・秩序・慣習・しきたりに従う，「世間通途」に生きるという行動原理を織り込んだ「一揆」が形成されていたものと考えられる。

実際に，長享一揆中から一揆蜂起後においては，江沼郡に存在した横北荘の領有権を持つ林光院と安楽光院に対し，公事役分＝林光院・本役分＝安楽光院という重層的な関係を利用した地下百姓＝一揆側は，林光院に対して年貢を未進する理由を安楽光院の持つ「本役分」の確保であると主張する。つまり，安楽光院の「得分」を回復するための処置だと主張し，発生する剰余分を在地に留保しようとした。林光院は，横北荘を違乱・押領の主体を，一向宗徒化した地下番頭であるとみた。（『蔭涼軒日録』）

また，同じく長享一期後の延徳年間の北野社領である江沼郡の福田荘では，在地代官である敷地彦衛門尉が，北野社の得分は，もとより神楽料所を名目として福田荘の公事役分であると主張し，本役分は能登畠山の得分であると主張し，北野社への本役分を未進した。すなわち，本主たる能登畠山の「旧領還付」を主張である。北野社側は，畠山への「旧領還付」という主張に対し，「神楽料所」は本主が存在しても「永代不易」であるから代替の知行が宛がわれるべきだと反訴し，社家による「直務」を主張し，認められると新代官を入部させようとする。そして，福田荘への北野社家からの代官入部に当たっては，敷地を本願寺門徒と認識し，本願寺の有力寺院である松岡寺蓮綱に福田荘への代官入部への協力を求めており，北野社家が惣荘村落が本願寺門徒化したと見なしたことも判明する。（『北野社家日記』）

また，長享一揆直前の長享元年閏11月に鹿苑院領である粟津保は，富樫政親の近江六角の追討へ参陣した際に課せられた兵糧米200石と人夫100人の賦課を，銭15貫200文に軽減してもらった。これは，侍衣禅師と俗縁がある守護代山川三河守が交渉し，鹿苑院に配慮があった結果だと「寺院歓喜」のところとなった。ところが，この直後の月末に粟津保から乙名百姓から本所領主である鹿苑院へ注進したところによると，現在における粟津保における，本所と守護への負担は，本所へは従来通りに進納しているが，守護へは応仁乱の際に軽減された分のみしか進納していない。ゆえに，鹿苑院へは欠怠なく進納することを誓うので，守護代へは応仁・文明の乱中に軽減された負担額であるということを，鹿苑院として黙認して欲しいというのである。この粟津保の乙名百姓の注進に対し，鹿苑院は，申し出を承認することは，「虚言亡実」の二枚舌の行為を認めたことになるから，しかも，そのことは，いずれ発覚するのであるから，守護および「国中一揆」の譴責をうけることになるであろう，ゆえに，当然のこととして，粟津保の乙名百姓の中心は承認できないというのである。つまり，長享一期発生前後に及んでは，加賀においては，守護と並んで「国中の一揆」が公権力として機能しだしていて，一揆による地域支配

が実現しだしたいたことがわかる。(『鹿苑院日録』)

以上，文明年中の加賀においては，一揆による村の支配，本願寺による村の門徒化が促進され，世間（村）と仏法（念仏）をつなぐ回路として一向一揆が形成されたのである。

4．世間・一揆と仏法・本願寺をつなぐもの

1490（延徳 2）年，冷泉為広は細川政元の伴をして，越後守護上杉への旅の経路に長享一揆後の加賀があった。為広の『旅日記』によれば，京から越後への旅路は，それぞれの地域の守護・守護代が細川一行を迎えたのであるが，加賀においては本願寺が路次を保障した。このことは，長享一揆後の加賀において，本願寺とその末寺が加賀において守護の役割を果たしたということになり，また，本願寺より路次の保障を受けた細川もそうのように見たわけである。

たしかに，蓮如は加賀の本願寺領国化は「仏法領にあらざるあいだ」，ようは仏法の取り扱う範囲ではない，念仏修行の本意ではないとして，本所（京家）の荘園支配への本願寺の関与を依頼する申し入れに対し距離を置こうとした。(『今古独語』）つまり，世間からは，本願寺が関与すると認識される一揆に対して，教団組織どの連続の認知を蓮如自身は与えなかったわけである。ゆえに，本願寺教団としての一揆関与には否定的ではあっても，自身との連続性を否定する以上，一揆そのものについては肯定・否定も与えず，加賀で生じた一揆による「国持」という事態を丸呑み状態で傍観し，本願寺の影響下の組織であること誇示する結果となった。

そのためか，長享一揆後の加賀を通過する細川政元の一行へ，室町幕府体制化では守護の権能となった「過所」（通行保障）を与えるごときの行為を行いえたと思われる。あくまで，細川政元の求めに応じて，加賀の通行保障（「過所」）を行うという，いかにも「世間」のしきたりに従った行為であった，と思われる。

このような背景の積み重ねにより，1519（永正16）年に，実如の後継者で本願寺の実質的経営者である円如と，加賀一揆に絶大な影響力を持つ江沼郡に居を構える一門衆山田光教寺蓮誓の談合により実如が定めたと「反古裏書」が伝える「三箇条掟」が定められたことは重要である。「三箇条の掟」とは，「故戦防戦具足懸・贔屓偏頗・年貢所当無沙汰」であり，これらを，戦国期加賀における「掟」（在地法秩序）となしたことの意味は，「世間通途」・「王法為本」・「仁義為先」，すなわち中世戦国期の法秩序に準じた本願寺と加賀一揆の関係を「世間」に示したものといえる。

つまり，一揆による加賀「国持」が武家法の統治を原則とすると宣言したもので，地域支配は一揆によるものの，その原則が室町幕府法という中世戦国期の「世間」＝法秩序によったものであることを主張したことになる。このことは，同時代の本願寺教団が「中興の志願」をたてたとされる蓮如が示した「世間通途」・「王法為本」・「仁義為先」なる「掟」に準じたことを意味することになる。

ここに及んで，一揆と念仏・世間と仏法・現世と来世という，民衆が蓮如に求めた「仏法」を中心にすえた「世間」の生き方，また蓮如が民衆に求めた「世間」を中心にすえた「仏法」の生き方が，双方が占める現実の社会・経済諸関係の中で成立したものと考えられる。つまり，蓮如が「民衆の内」にたったか，「民衆の外」に立ったか，ということが問題ではなく，蓮如の宗教運動で成立した戦国期本願寺教団・一向一揆が，中世戦国期の国家権力に関わってどのような政治的動向・主張をなしたかを注意深く見つめなければならない。民衆のなかの蓮如が生んだ本願寺・一向一揆という「宗教運動」について小論が導き出した展望である。

総合論文

位相空間のなす圏上の連続関手の拡張に関する総合報告

酒井　道宏

A synthetic report on the extension of continuous functor on the category of topological spaces

Michihiro SAKAI

We consider the following questions: when can we extend a continuous endofunctor on the category of topological spaces to a continuous endofunctor on the category of continuous maps, *Top*(2)? If this is the case, does such continuous endofunctor preserve fibrations? In this paper, we define *q-Fib* the topological category of locally trivial quasi-fibrations over polyhedra and explain that any continuous endofunctor on *Top* induces a continuous endofunctor on *q-Fib*. Moreover we define the Hopf-James homomorphism and the Whitehead product in the category of fibrewise pointed spaces over B. Making use of them, we generalize Hardie-Jansen's result[5].

1　$Top(2)$ とその部分圏 Top_B および Top_B^B

1968年 Hilton[6] は，位相空間の間の (射影とよばれる) 連続写像 $p: E \to B$ を対象とし，2つの対象 $p_1: E_1 \to B_1$ と $p_2: E_2 \to B_2$ に対して射を次の図式を可換にする連続写像の対：($f{:}E_1{\to}E_2$, $g{:}B_1{\to}B_2$) とする圏 $Top(2)$ を研究した．

$$\begin{array}{ccc} E_1 & \xrightarrow{f} & E_2 \\ {\scriptstyle p_1}\downarrow & & \downarrow{\scriptstyle p_2} \\ B_1 & \xrightarrow{g} & B_2 \end{array}$$

位相空間 E は1点空間上の空間 $p: E \to *$ とみなすことにより $Top(2)$ の対象と考えられる．このことから $Top(2)$ は，位相空間のなす圏である Top を自然に拡張する形で定義されていることがわかる．さらに位相空間の理論とよく似た性質をもつことが知られている．1984年以後，James[10] は Top から $Top(2)$ へホモトピー論を拡張した．特に，その対象 $p: E \to B$ の底空間を B に固定したときの $Top(2)$ の部分圏を Top_B と表す．さらに，Top_B の対象 $p: E \to B$ が $p \circ s = id_B$ となる (切断とよばれる) 連続写像 $s: B \to E$ をもち，次の図式を可換にするような連続写像を射とするとき，この Top_B の部分圏を Top_B^B と表す (この場合，射は ($f{:}E_1{\to}E_2$, $id_B{:}B{\to}B$) となるが，簡単のため id_B の記述を省略している)．

平成19年3月26日　受理

Top_B^B は基点つきホモトピー論において理論的に良い拡張を与えており，James[10, 11], James-Crabb[1], Hardie[11], James-Morris[12], Smith[15] らによって精力的に研究が行われている．ホモトピー論において，錐空間 CE や懸垂空間 ΣE は極めて基本的な図形である．これらを Top_B^B に拡張にした $C_B^B E \to B$ や $\Sigma_B^B E \to B$ に関して次のことが知られている．

事実 1.1. $p: E \to B$ が *Hurewicz fibration* ならば，$C_B^B E \to B$ や $\Sigma_B^B E \to B$ も *Hurewicz fibration* である．

また，約積空間 JE やループ懸垂空間 $\Omega\Sigma E$ および結空間 $E_1 * E_2$ をそれぞれ Top_B^B に拡張にした $J_B E \to B$, $\Omega_B^B \Sigma_B^B E \to B$, $E_1 *_B E_2 \to B$ についても同様のことが知られている．

定理 1.2 (Sakai[13])**.** $p: E \to B$ が *Hurewicz fibration* ならば，$J_B E \to B$ も *Hurewicz fibration* である．

定理 1.3 (James[10])**.** $p: E \to B$ が *Hurewicz fibration* ならば，$\Omega_B^B \Sigma_B^B E \to B$ も *Hurewicz fibration* である．

定理 1.4 (Hall[4])**.** $p: E_i \to B$ $(i = 1, 2)$ が *Hurewicz fibration* ならば，$E_1 * E_2 \to B$ も *Hurewicz fibration* である．

2　連続関手とその拡張

定義 2.1. $\Phi: map(X, Y) \to map(\Phi(X), \Phi(Y))$ が連続であるとき，すなわち，連続写像をホモトピーなどの連続的な変形を許して連続写像にうつすとき，関手 $\Phi: Top \to Top$ は連続であるという．

先述の錐 C や懸垂 Σ および約積 J はそれぞれ連続な関手だから，先程の事実 1.1 や定理 1.2 は連続関手の言葉では次

のように言い換えることができる．

命題 2.2. 連続関手

$$\begin{array}{ccc} C,\ \Sigma,\ J: Top & \longrightarrow & Top \\ \Psi & & \Psi \\ E & \longmapsto & CE,\ \Sigma E,\ JE \end{array}$$

は *Hurewicz fibration* を保ちながら連続関手

$$\begin{array}{ccc} C_B^B,\ \Sigma_B^B,\ J_B: \quad Top_B^B & \longrightarrow & Top_B^B \\ \Psi & & \Psi \\ (E\to B) & \longrightarrow & (C_B^B E,\ \Sigma_B^B E,\ J_B E\to B) \end{array}$$

に拡張できる．

このとき，次のような疑問が自然に生じる．

問題 2.3. どのような連続関手 $\Phi: Top \to Top$ が *Hurewicz fibration* を保ちながら連続関手 $\Phi(2): Top_B^B \to Top_B^B$ に拡張できるか？

この疑問は，James によってある条件の下で部分的に解決されている．

定理 2.4 (James[10]). *Top* 上の連続関手 Φ が $X \subset \Phi(X)$ という条件を満たせば，*Top*(2) 上に拡張できる．

系 2.5 (James[10]). *Top* 上の連続関手である錐関手 C, 懸垂関手 Σ, 約積関手 J, 局所化関手 R *(Iwase [7]* 参照*)* は，定理 *2.4* の条件を満たすので *Top*(2) 上に拡張できる．

注意 2.6. 定理 *2.4* は，ループ関手 Ω については $X \subset \Omega X$ とはならないので使えない．さらにこの定理では *Hurewicz fibration* を保つように拡張できるかどうかはわからない．

前回得られた結果 [14] では，*Top*(2) より若干小さい圏である *q-Fib* に議論を制限し，また Hurewicz fibration よりも条件の弱い quasi-fibration に変えて上記の疑問を連続関手に何の条件をつけずに明確に解決することができた．

3　前回の結果

まず，*q-Fib* や $q\text{-}Fib_B$，$q\text{-}Fib_B^B$ を次のように定義する．

定義 3.1. *Top*(2) の部分圏 *q-Fib* の対象 *(p:E→B)* は，多面体上の準ファイバー空間であり次の *2* つの条件を満たすものである．

(i) (局所自明性) B の各単体 Δ_α に対して同相写像 ϕ_α が存在して，次の図式を可換にする．

(ii) (弱位相) E は部分空間 $\{\iota_\alpha^* E;\ \alpha\in\Lambda\}$ に関する弱位相を持つ，すなわち，A が E の中で閉集合であることの必要十分条件は，各 $\alpha\in\Lambda$ に対して $A\cap\iota_\alpha^* E$ が $\iota_\alpha^* E$ の中で閉集合であることである．

$q\text{-}Fib_B$，$q\text{-}Fib_B^B$ の定義については，Top_B，Top_B^B の定義と同様である．ここで，α, β: *q-Fib* → *Top* を

$$\alpha(E\to B) = E,\ \alpha(f,g) = f$$
$$\beta(E\to B) = B,\ \beta(f,g) = g.$$

となる関手とする．このとき，次のような結果が得られた．

定理 3.2 (酒井 [14]). 任意の連続関手 Φ : *Top* → *Top* に対して，連続関手 $\Phi(2)$: *q-Fib* → *q-Fib* が存在して次の性質を満たす．

(1) $\alpha\circ\Phi(2)(p{:}E\to B) = \coprod_{b\in B}\Phi(E_b),\ \alpha\circ\Phi(2)(f,g) = \coprod_{b\in B}\Phi(f_b)$

(2) $\beta\circ\Phi(2)(p{:}E\to B) = B,\ \beta\circ\Phi(2)(f,g) = g$

(3) $\Phi(2)(\mathrm{pr}_1{:}B\times F\to B) = (\mathrm{pr}_1{:}B\times\Phi(F)\to B)$,
　$h: F_1\to F_2$ に対して，$\Phi(2)(g\times h, g) = (g\times\Phi(h), g)$.

定理 3.3 (酒井 [14]). 連続関手 Φ_i : *Top* → *Top* $(i=1,2)$ の任意の自然変換 $\theta: \Phi_1\to\Phi_2$ に対して，次の性質を満たす自然変換 $\theta(2): \Phi_1(2)\to\Phi_2(2)$ が存在する．

(1) $\alpha\circ\theta(2)(p{:}E\to B) = \coprod_{b\in B}\theta(E_b)$,

(2) $\beta\circ\theta(2)(p{:}E\to B) = id_B$,

(3) $\theta(2)(\mathrm{pr}_1{:}B\times F\to B) = id_B\times\theta(F)$.

定理 3.2 によって，*Top*(2) 上に錐, 懸垂, 約積, 局所化, … のような多くの連続関手を得る．

系 3.4 (酒井 [14]). C_B, Σ_B, J_B, R_B は $q\text{-}Fib_B$ における連続関手である．

系 3.5 (酒井 [14]). $p: E\to B$ を $q\text{-}Fib_B$ の対象とする．このとき，$J_B E$ と $\Omega_B\Sigma_B E$ は弱同値である．

系 3.5 では $J_B E$ と $\Omega_B\Sigma_B E$ が弱同値である，すなわち，各次元のホモトピー群が同形であることしかわからずホモトピー同値になるかどうかはわからなかったが，最新の研究 [8] ではこれらがファイバーと切断を保つような変形によってホモトピー同値であることがわかった．

定理 3.6 (Iwase-Sakai[8]). $p: E \to B$ を局所自明な Top_B^B の対象とする. ファイバー F が CW 複体のホモトピー型をもつならば, $J_B^B E$ と $\Omega_B^B \Sigma_B^B E$ は *fibrewise pointed* なホモトピー同値である.

$J_B^B E$ と $\Omega_B^B \Sigma_B^B E$ が fibrewise pointed なホモトピー同値であることについては研究論文 [13] でも次のように紹介されている.

定理 3.7 (Sakai[13]). $p: E \to B$ が *Hurewicz fibration* ならば, $J_B: J_B^B E \to \Omega_B^B \Sigma_B^B E$ は *fibrewise pointed* なホモトピー同値写像である *(ただし, ここではすべての Top_B^B の対象が CW 複体のホモトピー型をもつものとする)*.

次節では, この結果を用いて Hopf 不変量と呼ばれるものを Top_B^B 上に拡張する.

4　Hopf 不変量の拡張とその応用

球面はホモトピー論における基本的な空間の 1 つであり, そのホモトピー群は『2 つの球面の間の連続写像で, (ホモトピー論の意味で) 本質的に異なるものが何個存在するか?』というホモトピー論の大変重要な問題と密接に結びついているために, 多くのトポロジストによって研究されている. 1930 年代 Hopf によって球面のホモトピー群から整数への準同型写像である Hopf 不変量 $H: \pi_*(S^n) \to \mathbb{Z}$ が構成され, 球面のホモトピー群の計算に有効に用いられた. 1950 年以降この Hopf 不変量は, James, Toda によってホモトピー集合の間の準同型対応 (Hopf-James 準同型あるいは一般 Hopf 準同型) $H: [\Sigma K, \Sigma X)]_* \to [\Sigma K, \Sigma(X \wedge X)]_*$ として捉えられ, これから E.H.P 系列と呼ばれるホモトピー群の完全系列を導き, 様々な空間のホモトピー群が飛躍的に計算出来るようになった. さらに 1980 年代後半, Hardie-Jansen[5] によって, Hopf-James 準同型を用いた Hopf 構成の計算が行われ, 非自明な写像の構成がなされている. 1980 年代に James は Top_B^B のホモトピー論について研究しているが, Top_B^B での Hopf 不変量に対応するものが与えられていない. そこで研究論文 [13] では, 次のように Top_B^B に Hopf-James 準同型を定義し, Hardie-Jansen[5] の結果を自然に拡張する形で非自明な写像を構成できた. まず,

$$h_2: J_B X \to J_B(X \wedge_B X)$$

を fibrewise shrinking map

$$h_2: (J_B X, X) \to (X \wedge_B X, s(B))$$

の fibrewise combinatorial extension とする. このとき, Top_B^B 上の Hopf-James 準同型

$$H_B: \pi_B^B(\Sigma_B^B K, \Sigma_B^B X) \to \pi_B^B(\Sigma_B^B K, \Sigma_B^B(X \wedge_B X))$$

を以下の写像の合成で定義する.

$$\begin{aligned}
\pi_B^B(\Sigma_B^B K, \Sigma_B^B X) &\xrightarrow{ad} \pi_B^B(K, \Omega_B^B \Sigma_B^B X) \\
&\xrightarrow{(j_B^{-1})_*} \pi_B^B(K, J_B X) \\
&\xrightarrow{(h_2)_*} \pi_B^B(K, J_B(X \wedge_B X)) \\
&\xrightarrow{(j_B)_*} \pi_B^B(K, \Omega_B^B \Sigma_B^B(X \wedge_B X)) \\
&\xrightarrow{ad^{-1}} \pi_B^B(\Sigma_B^B K, \Sigma_B^B(X \wedge_B X)),
\end{aligned}$$

ここで, ad は adjoint map を表し, $\pi_B^B(-,-)$ は Top_B^B 上の写像をファイバーと切断を保つホモトピーで分類したホモトピー集合である.

次に, Top_B^B 上に Whitehead product を定義し, 非自明な写像を構成する. $\xi = \xi' \oplus \varepsilon^2 \to B$ と $\eta = \eta' \oplus \varepsilon^2 \to B$ を B 上の実ベクトル束とする. ただし, $\varepsilon^2 \to B$ は B 上の 2 次元実自明束である. $S(\xi) \to B$ と $S(\eta) \to B$ をそれぞれ ξ, η に関する球面束とする. 明らかに $S(\xi)$ と $S(\eta)$ は Top_B^B の対象である. 自然な同相写像 : $D(\xi' \oplus \varepsilon^1)/_B S(\xi' \oplus \varepsilon^1) \approx S(\xi)$ があるので, q_B を次の fibrewise な商写像とこの同相写像の合成とする.

$$q_B: D(\xi' \oplus \varepsilon^1) \to D(\xi' \oplus \varepsilon^1)/_B S(\xi' \oplus \varepsilon^1) \approx S(\xi)$$

$a = [f] \in \pi(S(\xi), X)$, $b = [g] \in \pi(S(\eta), X)$ に対し, Whitehead product $[-,-]_B$:

$$\begin{array}{ccc}
\pi_B^B(S(\xi), X) \times \pi_B^B(S(\eta), X) & \to & \pi_B^B(S(\xi' \oplus \eta' \oplus \epsilon^2), X) \\
\cup & & \cup \\
(a, b) & \longmapsto & [a, b]_B
\end{array}$$

を次のように定義する.

$$[a, b]_B = [\nabla_B \circ (f \times_B g) \circ (q_B \times_B q_B) \mid_{S(\xi' \oplus \eta' \oplus \epsilon^2)}]$$

ここで, ∇_B は fibrewise folding map である. $\alpha \in \pi_B^B(S(\xi) \wedge_B W, X)$, $\beta \in \pi_B^B(S(\eta) \wedge_B W, X)$ に対し, 標準的全単射 : $\theta: \pi_B^B(S(.) \wedge_B W, X) \to \pi_B^B(S(.), X^W)$ (ただし, $X^W = map_B^B(W, X)$) と Whitehead product $[-,-]_B$: を用いて, $[\alpha, \beta]_B^W$ を以下の写像の合成で定める.

$$\begin{aligned}
&\pi_B^B(S(\xi) \wedge_B W, X) \times \pi_B^B(S(\eta) \wedge_B W, X) \\
&\xrightarrow{\theta \times \theta} \pi_B^B(S(\xi), X^W) \times \pi_B^B(S(\eta), X^W) \\
&\xrightarrow{[\,,\,]_B} \pi_B^B(S(\xi' \oplus \eta' \oplus \epsilon^2), X^W) \\
&\xrightarrow{\theta^{-1}} \pi_B^B(S(\xi' \oplus \eta' \oplus \epsilon^2) \wedge_B W, X)
\end{aligned}$$

すなわち,

$$[\alpha, \beta]_B^W = \theta^{-1}[\theta(\alpha), \theta(\beta)]_B.$$

このとき, 次の結果が得られた.

定理 4.1 (Sakai[13]). $\alpha \in \pi_B^B(S(\xi) \wedge_B W, X)$, $\beta \in \pi_B^B(S(\eta) \wedge_B W, X)$ とする. $[\alpha, \beta]_B^W = 0$ のとき, $\pi_B^B(S(\xi' \oplus \eta' \oplus \varepsilon^3) \wedge_B \Sigma_B^B W, \Sigma_B^B X))$ の部分集合 $c(\alpha, \beta)$ が存在して次を満たす.

$$\begin{aligned}&H_B(c(\alpha,\beta))\\&= \{\Sigma_B^B(\alpha \wedge_B \beta) \circ \Sigma_B^B(1 \wedge_B T \wedge_B 1) \circ 1 \mid_{S(\xi' \oplus \eta' \oplus \varepsilon^3)} \wedge_B \chi\}\\&(\subseteq \pi_B^B(S(\xi' \oplus \eta' \oplus \varepsilon^3) \wedge_B \Sigma_B^B W, \Sigma_B^B(X \wedge_B X))).\end{aligned}$$

ここで, $\chi : W \to W \wedge_B W$ は *fibrewise diagonal class map* であり, T は *swiching map* である.

注意 4.2. $1 : \Sigma_B^B W \to \Sigma_B^B W$ を恒等写像とする. $\Delta_W^* : H^*(W \wedge_B W, s(B)) \to H^*(W, s(B))$ が 0 写像でないならば, $H_B(c(1,1)) \neq 0$ である. すなわち, $c(1,1) \subseteq \pi_B^B((\Sigma_B^B)^3 W, (\Sigma_B^B)^2 W)$ は非自明である.

$W \to B$ を単連結な空間 B 上の Hurewicz fibration とし, $H^*(W, s(B))$ を有限型 projective $H^*(B)$-module とする. このとき, Smith[15] は external tensor product が同型写像:

$$H^*(W, s(B)) \otimes_{H^*(B)} H^*(W, s(B)) \to H^*(W \wedge_B W, s(B))$$

を誘導することを証明した. これを用いて次の結果が得られた.

定理 4.3 (Sakai[13]). $H^*(W, s(B))$ が有限型 *projective* $H^*(B)$*-module* であり, 積:

$$H^*(W, s(B)) \otimes_{H^*(B)} H^*(W, s(B)) \to H^*(W, s(B))$$

が非自明写像であるとする. このとき, $c(1,1)$ は $\pi_B^B((\Sigma_B^B)^3 W, (\Sigma_B^B)^2 W)$ の中で非自明である.

今後の課題

先程は定理 3.6 を用いて Hopf-James 準同型を構成したが, これよりも条件の弱い定理 3.5 を用いても構成できると予想される. また, Hopf 不変量 $H : \pi_*(S^n) \to \mathbb{Z}$ をホモトピー集合の間の対応 $H : [\Sigma K, \Sigma X)]_* \to [\Sigma K, \Sigma(X \wedge X)]_*$ として拡張するのではなく, 球面のホモトピー群 $\pi_*(S^n)$ は球面の間の連続写像をホモトピーで分類したものであるので, この拡張として球面束 $S(\xi)$ と $S(\eta)$ の間のファイバーと切断を保つ写像のホモトピー集合 $\pi_B^B(S(\xi),\ S(\eta))$ を考え, さらに整数 $\mathbb{Z}$ は 1 点空間の整数係数コホモロジー環 $H^*(pt; \mathbb{Z})$ に等しいので, その拡張として 1 をもつ可換環 R を係数にもつ底空間 B のコホモロジー環 $H^*(B; R)$ を考える. すなわち, 準同型 $H_B : \pi_B^B(S(\xi),\ S(\eta)) \to H^*(B; R)$ を定義して, 非自明な写像を構成することが今後の課題である.

謝辞

本論文を執筆するにあたり, 適切なご助言及び情報を頂きました九州大学大学院 数理学研究院 岩瀬則夫准教授に厚く御礼申し上げます. また, 研究を支えて頂いております久留米工業高等専門学校 一般理科 (数学) の川越茂敏教授, 中坊滋一准教授, 高橋正郎准教授, 山本稔講師にも深く感謝致します.

参考文献

[1] Crabb, M. C. and James, I. M., *Fibrewise Homotopy Theory*, Springer (1998).

[2] Dold, A., *Partitions of Unity in the Theory of Fibrations*, Ann. of Math (2) **78** (1963), pp. 223–255.

[3] Eggar, M. G., *The piecing comparison theorem*, Indag. of Math. **35** (1973), pp. 320–330.

[4] Hall, I. M., *The generalized Whitney sum*, Quart. J. Math. Oxford.**16** (1965), pp. 360-384.

[5] Hardie, K. A. and Jansen, A. V., *A Whitehead product for track groups*, Springer Lecture Note. **1370** (1989), pp. 163-170.

[6] Hilton, P, J., *Homotopy theory and duality*, Nelson Gordon and breach (1965).

[7] Iwase, N., *A continuous localization and completion*, Trans. Amer. Math. Soc. **320** (1990), pp. 77–90.

[8] Iwase, N. and Sakai, M., *Functors on the category of fibrations*, preprint.

[9] James, I. M., *On spaces with a multiplication*, Pacific J.M. **7** (1957), pp. 1083-1100.

[10] James, I. M., *General topology and Homotopy theory*, Springer (1984).

[11] James, I. M., *Handbook of Algebraic Topology*, North Holland (1995).

[12] James, I. M. and Morris, J. R., *Fibrewise category*, Proc. Roy. Soc. Edinburgh. **119A** (1991), pp. 177–190.

[13] Sakai, M., *On the Hopf-James homomorphism over B*, Quaestiones Mathematicae, to appear.

[14] 酒井道宏, 位相空間のなす圏上の連続関手の拡張に関する研究報告, 久留米高専紀要 22 巻 1 号 (2006), pp. 53–56.

[15] Smith, L., *Lectures on the Eilenberg-Moore Spectral Sequences*, Lect. Notes in Math.**134** Springer Verlag, Berlin (1970).

教育研究報告

「人権論」への予備的考察
— 久留米工業高等専門学校「一般科目」から —

松尾　一

A Preliminary study on the HUMAN RIGHT in KNCT

Hajime MATSUO

1.カントの問いの崩壊
—「大学全入時代」をむかえて —

A　1986年「教育改革に関する第二次答申」の持つ意味
— 開かれた大学・高等教育機関とは何か —

「高等教育が大衆化し，また実生活の諸状況が著しく変化するなかで，社会が大学教育に何を期待するかを省みる諸学の進歩をいかに教育に反映させていくかを不断に検証し，大学における専門教育の共通基盤を追求する必要がある。（省略）旧来の学部，学科，課程，講義等の枠組みにとらわれない（省略）弾力的な措置を考慮すべきである。（省略）産・官・学の協力を通じて企業等が大学が享受するものは，企業等との接触を通じての研究課題の発見と認識であるといえよう。これらの関係は，業種や分野によって多様であり（省略）このような状況を広く展望し，産・官・学の協力の推進に努めなければならない」（臨時教育審議会「教育改革に対する第二次答申」（昭和六一年四月二三日）第２部第４章第１節，第２節）

1986年の臨時教育審議会の「第２次答申」は，その後の大学・短期大学・高等専門学校・高等専修学校といった15年間の学校教育機関で就学という後期中等教育卒業した人びとを，高等教育機関を受け入れる側の性格を大きな変更を余儀なくさせた。18歳人口の「大学全入時代」の到来の宣言で，予想以上の社会の少子化傾向促進がより一層の高等教育への進学率上昇を招いた。2006年３月末の18歳人口の高等教育就学率は，75パーセントを超え，NEETと呼ばれる就学・就労放棄の青少年の問題を除外すれば，中等教育を最終学歴とする青少年は，1960年代後半の義務教育（中学校）卒業者を「金の卵」とした時代の数値に迫っていて，「大学全入時代」が到来したことを統計上の就学人口推移の上でも実証した。

1986年（昭和61年）「臨教審第2次答申」の画期的要素は，大学（高等教育）の持つ意味を，それまでの，1949年に新制大学が打ち出した「高等教育の量的拡大」「大学の大衆化」を，「大学全入時代の到来」という形で具現化する画期的答申であるといえ，大学側からそれなりの批判もあった。ただ，団塊ジュニアと呼ばれる第二次ベビーブームの世代が大学進学にかかった1989年頃から新設大学・新設学部・新設学科が行われ，2001年に160万人代を切り，2006年には130万人代まで減少している。この間，高等教育（大学・短大・高専・専門）への進学者・進学率は，2000年代に入り100万人を突破した辺りで微減に転じたが，進学率自体は漸増のままで，2005年度には76.2パーセントまでに達している。（大学自体が50㌫超となった）まさに「大学全入時代」が到来している。

大学進学率は1975年頃に30㌫代後半で頭打ちになったが，1990年代に入り持ち直し，現在は50㌫超となっている。大学進学率が50㌫超となった背景には，短期大学の４年制大学への改組と，女子大学の共学化に伴う学部増設があげられる。この新設大学で象徴的なことは，情報・材料工学・バイオサイエンスといった先端技術科学や国際文化・福祉といった人文社会の複合領域といい，これ等に加えて看護といった専門学校や短期大学に委ねられていた教育領域が大学の「学」として認めらたことが主因である。つまり，2000年前後の大学の「学門領域」は，現代のすべての職域を網羅しつつあり，大学・学部・学

平成19年３月26日　受理

群・学科・専攻・コースは，「現代職業づくし」の様相を呈しているといえよう。

したがって，大学全入時代においては，職業，社会人になるための準備として，少なくとも専門職をめざす以上は，職域・職能の如何を問わず高等教育機関での「就学」が基礎資格化してきたことを意味する。そして，この大学全入時代は，日本の大学史に検証すれば，その可否あるいは功罪をとわないでおいて事実のみみれば，1945年の日本の太平洋戦争敗北に伴う戦後改革のなかに見て取れる。事例から考えてみよう。

B　産学連携は「新制大学」設立の大前提であった — 「職能開発」が高等教育の目的か —

1946年立教大学商学部に「ホテル講座」が，箱根富士屋ホテルオーナーの山口正造からの「寄附講座」として開設される。これは，敗戦後にアメリカ合衆国軍を中心とする連合国軍に占領され，日本国内の宿泊・滞在する大量の外国人旅行客を迎え，旅行業界は宿泊施設・接客ともに「欧米化」の必要をせまられ，それに伴う人材の養成が旅行・宿泊・観光産業にとって重要課題となった。

高等教育の対象として，立教大学に「ホテル講座」を寄付した山口正造の卓見であったが，このことは，旧制（戦前）の大学が産業界の要望を受けて人材を養成したり，研究活動を行うという産学・官学・官産学連携を意識することが少なかったので，戦後の大学改革の前提に官産学連携ということが盛り込まれる背景がすでに1946年の段階で読み取れることは興味深い。(『立教学院100年史』)

戦後の大学改革の骨子の一つに，高等教育の「量的拡大」があった。1949年（昭和24年）に高等教育機関は，新制大学を中心に改組され，師範学校・高等師範学校，商業・工業・農業専門学校，女子専門学校をはじめとして，運輸省所管の海員養成学校や逓信省所管の無線電信講習所，農林省所管の水産講習所といった職能訓練系の学校が大学へと昇格した。このことは，新制大学が，その発足時から「職能開発」を高等教育の対象とすることを含意していて，高等教育の量的拡大（大学の大衆化）が，大学における多様な学部・学科・専攻を産み出すことを不可避と捉え，旧帝国大学の学部編成に見られるそれぞれの学問分野における基礎研究を前提とする枠組みを放棄することを前提としていたことになる。

立教大学の「ホテル講座」は，1964年（昭和39年）の海外渡航自由化を受けた海外旅行者の量的拡大を受け，同年4月に立教大学社会学部産業関係学科「ホテル経営コース」へと昇格した。そして，1967年には，1963年の東洋大学短期大学観光学科の開設を睨みながら，1967年に社会学部観光学科として独立した。さらに，1973年には大学院社会学研究科応用社会学専攻が設置され，修士課程・博士後期課程と整備され，「観光学」が「社会学博士」，すなわち「学位」の範疇に組み入れられた意義は頗る大きかったといえよう。

その後，立教大学社会学部は，1998年に観光学部観光学科へ昇格し，同時に大学院観光学研究科博士前期・後期課程が開学し，「観光学博士」の学位授与が可能となった。いわば，立教大学の観光学は，日本における「専門職大学院」の創造主体として教育界を背負ってきたことになる。ことに，職能開発・専門職養成が，教育過程の完成として「学位（博士号）」の対象なったことは意義深いといえよう。

1946年に産業界の要請を受け，寄付講座として出発した「観光学」は，その後の教育行政が大学へ求める柔軟かつ多様な教育課程教員組織の具現化として，約半世紀をかけて実現し，「高等教育の量的拡大」・「大学の大衆化」の典型として位置づけられると思う。

産学一体の大学・学部・学科・専攻コースは，2007年の現在において，もはや当たり前の風景になった感が強いのであるが，一般科目・一般教育・教養科目を担当する人文基礎科学（哲学・史学・文学）を専攻するものにとっては，忌忌しき事態であると警戒しなければならないという意見もある。

C　カントの問いの無化

1798年「学部の争い」をエマニュエル・カントは著述する。執筆の動機は，新たな学として興起してきた理工学を，大学として受け入れることを前提としながら，大学における学問の本質を述べるのである。(『カント全集』18巻　氷見潔・八幡英幸訳　岩波書店　2002年)

1798年のカントが，近代における大学論を展開しなければならない理由は，古く1948年に科学技術論の立場から，カント哲学の啓蒙主義が「民衆は

ただの啓蒙の客体であり専制政治の対象」としていることから，「啓蒙専制政治の大学論」として退ける向きもあったが，1986年の臨教審が説く，産学官連携，産業界の要望による大学の教育研究の再編を「開かれた大学（高等教育）」とする議論をみれば，あながちに杞憂であるとは排除できない警告であった。（島田雄次郎「カントの大学論」『思想』№298）

カントが，国家による高等教育・大学の管理の必要を説くのは，高等教育の本質を人間社会を支配するエリート官吏（神官・法曹家・医者）を養成する中世ヨーロッパにおいて大学の「学」として認められた学問を受ける教師・学生が，国家権力の中枢を掌握するエリートであればこそ，「めったな人間」が高等教育を受け官吏になることを未然に防がなければならない。つまり，神学部（神官）は「精神の世界」，法学部（法曹家）は「秩序」，医学部（医師）は「身体」を支配していく高級官吏であり，国家権力の中枢を掌握し，これらの権力を握る人間は「完成した人格」をもたなければならないという，完成した人格者のみが「高級官吏」を養成する国家機関である大学に学ぶ学生たりうる，という論理であった。この，いささか特権的というよりは，人格の形成を教育の目的にあげ，後に「ドイツ型教養主義」と呼ばれる大学論が登場するには，やはりそれなりの歴史的背景があった。

カントが「学部の争い」は，神・法・医学部という上級学部（専門）と，当時は下級学部（自由七科・リベラルアーツ）であった哲学との間にに生じた軋轢から生じる論争であった。子細は除いて，上級学部への自立性を自由七科（リベラルアーツ）側が主張したことによるが，その際に，カントが主張したことによれば，ただ単に学部，上級学部に昇格して「学」として自立すればよいというものではないということである。つまり，上級学部に近代を迎えて発達してきた理工学・技術科学を大学に迎える際の「手かせ・足かせ」としての「人格の完成した真の教養人」のみが学生たりうるのだと宣告したわけであるが，言い換えれば，理工学が近代国家の命運を左右する重要な学問であることを認証したうえのことであるから，カントの先見性ということと，時代の要求がなんであったのかを暗示している。また，あえてカントが，大学で学ぶことの基礎に「人格が完成した教養人」とした背景には，1794年にフランス革命政府が，軍学一体を前提としたエコール・ポリテクリニーク（理工科学校・現在はパライソ市に設置）が開設されたことへの危機感であったといわれる。

そして，カントが，やがて大学に向かえ学部を構成するであろう理工学者・技術科学者たちに，現代流にいえば，産学一体・軍学一体を厳しく誡めたことを示したことになり，ドイツの大学を基本とする日本における高等教育機関は産学・軍学・産学官といった，大学外との連携を拒む姿勢を持ち続けた。

日本の旧帝国大学・官立大学―高等学校，1922年よりは私立大学―予科・専門部，各分野の専門学校，師範―高等師範，女子専門学校という大学・高等教育の形態がとられていて近代教育史では，特に旧制高等学校の教育目標には「人格の形成」，あるいは，札幌農学校の如く官立でありながら，キリスト教徒であるクラーク博士の影響下に「全人教育」を掲げ，ドイツ型教養主義を前提としながらも，専門教育を受けるための「基礎学力」養成にも腐心するという二重性・二律性を持っていた。

従って，「教養主義」から生じたカントの問いは，あるいは，産業革命が本格化したカント没後半世紀以上が経過した1872年に，27歳のニーチェは，大学教師として改めて「カントの問い」を大学に突きつけた。「われわれの教養施設の将来」という講演である。晋墺戦争の勝利とドイツ帝国の成立に沸き返るドイツ，とりわけ大学社会に向けて，傷病兵・帰還兵でもあるニーチェは，ドイツ帝国の大学生は「教養のために産まれながら，もっとも非教養に向けて教育されている」と批判し，「修業年限の最後に，ある官職，または何かの生計上の利得を見込んでいるようなあらゆる教育は，われわれの理解しているような教養のための教育ではなくて，どの道をとれば，生存闘争において自分の主体を救い，護っていけるのかを示すたんなる案内にすぎない」と述べた。（浅井真男・西尾幹二訳『ニーチェ全集』第１期第１巻　白水社）傾聴すべきである。「教養」が軽視される今日においてこそ。

2．高等専門学校「一般科目」の「人文社会」系科目の意味

A　そもそも高等専門学校の「一般科目」とは

長い枕を書いてしまったが，確認しておかなければ

ばならないのは，戦後の高等教育（大学・短大・高専）における「教養とは何か？」を語るとき，私たちは，現実の問題としてカントやニーチェが投じた，「人格の完成」を教育の目標にあげることは，すくなくとも教育の現状としては，もはやなじまないということである。「職能開発」いいかえれば「手に職をつける」ことを，高等教育機関が行うことへ，日本の教育界は，すくなくとも，新制大学が発足した1949年から，高等教育の量的拡大と社会の要求にこたえる教育研究環境として整備し，2007年の今日に至り「大学全入時代」が到来という形での戦後改革が完成・具現したわけである。その評価は多様な議論があるにしても，である。

とすれば，まさに戦後産業界が必要とする理工系学生の増募を支え（量的拡大），教育期間も20歳卒業と短縮され（期間短縮），戦後日本社会の要求に応えた高等教育機関として「高等専門学校」が1962年に発足したのは，将来に高等教育への進学率が相当に上昇していくことを想定し，いち早く，国民が持つ教育熱にも教育行政として対応したものともいえる。

では，高等専門学校の一般科目のうちの人文社会科目が担っている役割についていえば，ごく簡単にまとめれば次のようになる。①「専門科目」を受講するための基礎学力の養成，②市民・職業人（技術者）としての一般常識（教養）ということになる。これは，アメリカ型教養主義といわれ，いわゆる「一般常識」ということになり，専門教育・専門科目の受講のための基礎学力の養成から，常識に強い職業人のための知識獲得ということになる。では，一体によき「市民」・よき「技術者」としての「教養」・「一般常識」とは「何か」ということになる。

B　「よき市民・よき技術者」となるための「教養」とは何か？

すでに大学・短期大学では，教養部・一般教育部が廃止されて久しく，大学教育が，旧一般教育を直線的に「専門基礎」，つまり専門教育・専門科目を受講する基礎学力の養成へと向かったのかというと，そう単線的な結果にならなかった。これも，教養部・一般教育部が廃止・改組された頃から，むしろ，「○×倫理」というような，専門領域に「倫理」あるいは「哲学」といった，「ものの見方」・「ものの考え方」を冠して，専門家・企業家としての倫理が問われ，大学における「全人教育」・「倫理教育」といったドイツ型教養主義による大学教育の過度の「実学化」への警告が，1991年に大学改革をいわゆる大綱化し，「教養部潰し」を行った当事者から出されたときは失笑を禁じえなかった。この「あつあかましことに，文部科学省は大綱化により教養教育を破壊してしまったにもかかわらず，95年にオウム真理教による地下鉄サリン事件が起きて高等教育を受けた元『エリート』たちが次々に逮捕されると，『大学は教養教育をちゃんとやってきたのか』と言い出したのです」（岩崎稔・鈴木公・田栗正章「座談会　ＣＯＥ狂騒曲　―破壊される高等教育―」（『世界』2002年12月号）まったくである。

「教養」とは何かということが，改めて議論に上ったのは，1995年の地下鉄サリン事件を中心とする「オウム真理教」事件によってである。オウム事件によって，大学を中心として高等教育機関と呼ばれる組織に所属するものが目の当たりにしたのは，バカの持つ差別性を除外して使用すれば，教育によって世の中に輩出した「専門バカ」・「専門バカにすらなれないバカ」の始末に負えない現状である。つまり，オウム事件は，「専門バカ」，あるいは「専門バカにもなれないバカ」を高等教育機関が育ててしまったのではないかという危機感につながったのである。これは，『バカの壁』（養老孟司　2003年　新潮新書）を引き合いに出さずとも，誰しもが納得する現代における「教養主義」の敗北，あるいは終焉・末路を見せ付けたことになり，改めて，真の「教養」とは何かが問われ，カントやニーチェの問いが無駄ではないことを改めて確認させた。

では，高等専門学校において，何が一般科目の人文社会系科目に要求されるのであろうか。

C　やはり「リベラル・アート」であることの確認が必要

高等専門学校の人文社会科目において，特に後期中等教育の学齢に当たり，当然に高等学校の教科履修課程を意識しなければならず，久留米では，2006年度入学生からは，「地理・倫理・世界史・政治経済・日本史」の５科目（10単位）が宛てられている。ただし，高等専門学校の場合，大学工学部編入・専攻科への進学の際に高校（歴史地理・公民分野）の科目は不必要であり，検定教科書をそのまま使用した

り，高等学校の額指導要領に基づく指導案を適用することは，学生の受講意識から乖離した講義になることを厳に意識しなければならない。

また，大学編入・専攻科進学を行った場合でも，高等専門学校の一般科目が大学の単位として認定される場合が多く，大学における旧教養科目における系統分野・科目を履修する機会に恵まれることは少ない。とすれば，4，5年生に配置されている人文社会科目は，低学年の配当科目の系統的発展として大学における「旧教養科目」の性格を併せ持って開講されていることとなる。

従って，低学年の配当科目であっても，高等学校の教科を「学力観」の基本としながらも，単純に教育目標を指導要領の引き写しにするのではなくて，あくまで4，5年で開講される「科目」に対しての基礎という性格が強いことも意識しなければならない。ということになると，4，5年生に配列される人文社会系の科目は，1，2，3年生に配列された人文社会科目（地理歴史系と公民系教科）の系統的学習として位置づけることが出来る。そして，4，5年ということであれば，専門科目との併習されているということになるから，大学における旧教養部・旧一般教育部で開講された教養科目・一般教育科目とも相違し，同時に学習・履修していくわけであるから専門に対する一般ということでいえば，アメリカ型高等教育機関でいうところの「リベラル・アート」という性格が強いはずであると思慮される。

3．高等専門学校におけるリベラル・アート ―「人権論」のねらい ―

A　高等専門学校学生の人権意識 ― 社会に対して「保守傾向」にある ―

久留米工業高等専門学校の人文社会科目として「人権論」が開講された。「リベラル・アート」としての「人権論」を意識しての開講であったが，「社会と法」（法学）といった科目の履修や。2年次（3年次に開講された学年もある）に於いての『政治経済』の日本の政治分野学習を踏まえながら「シラバス」の作成や，実際の講義ノートの作成を行う必要があった。また，4年生の後期科目としての開講を原則として，5年生の受講可能にし，年度によっては前期等場合があり，「法学」との併修が不可能な学年も存在した。

さて，2000年度の政治経済（2年生）において「人権論」の講義の準備を兼ねて，ある「実験」というよりは，講義中に模擬投票とディベートを行った。死刑制度廃止の可否について，「政治経済」を担当した2クラスで実施した。この「実験」は，議論を抽象的にするためと，アメリカ政治の仕組みを知るために「大統領選挙」を背景とし，死刑が実施されている保守的な南部の州，犯罪は母子への猟奇的殺人（新聞報道）をめぐる議論，議論の場は死刑廃止論者が多い民主党の大統領候補を選出するための「タウン・ミーティング」，「模擬投票」は，裁判所での陪審員の場での「票決」ということに設定し，3週（45分×6時限）を講義に行い，1週をディベートに宛て，5週目に票決を行い，開票し担当者が「助言」という形で講義を行った。講義は，夏休みを挟んで行い，夏休みの課題として「死刑制度への賛成・反対」についての論議，ということになった。レポート提出を兼ねて，ディベート・模擬投票は夏休み明けに行った。

この「レポート・ディベート・模擬投票」から判明したのは，レポートの内容の殆どが「死刑廃止」あるいは「死刑反対・慎重」派に組するもので，賛成・存続を主張したのは，約80名の内の7，8名であった。また，ディベートは，人数を二手に分けて行ったが，やはり反対・慎重論が圧倒的に優勢であった。ところがである。投票にかけると，死刑賛成票が，8割近くを占め，レポートやディベートと票決の結果が大きく相違していることがわかり興味深かった。票決の方法は，教室で投票用紙を一枚づつ渡し，別室で記入しの投票箱（立会人役学生2名）に入れるという，模擬投票としてはかなり厳密に行ったわけで，学生の意思・意識が反映した結果であったと思われる。

記名式となるレポート・ディベートは「反対・慎重」，無記名の票決では「賛成・存続」という，いかにもという結果になったが，これは，何も担当者の顔色を窺ったばかりではないと思われる。レポート・ディベートの参考となる文献，特に，2000年の段階でＷＥＢサイトで検索した情報のうち，参考資料・文献として使えるのは廃止論者・慎重派ばかりで，賛成論・存続論は感情的・情緒的でレポートには使用できなく，已む無く，心ならずも，反対論・慎重論を写したということであった。死刑制度支持

をいいながら，意見を言う場合は確実な情報・文献を使用するという久留米工業専門学校の学生が持つ社会に対する保守性をみてとれたが，そうであれば，尚更に高等専門学校「人権論」の教育目標が見定められてくる。

B 日本国憲法の「積極的差別是正策」
—「人権論」の教育目標 —

『日本国憲法』は，よく知られているように，アメリカ合衆国憲法が，人種・民族による結婚差別などを私人間の問題として介入を避けているのに対し，積極的差別是正策をとっていると考えられる。このことを，「人権論」ではハンセン病差別を事例に考えたわけであるが，題材として「映画　あつい壁」を選んだ。(未完)

<資料>　久留米高専における「人権論」講義の事例　—「講義ノート」から —

2006年10月13日・20日・27日
「人権論」(4，5年選択科目　後期　第2講・第3講・第4講)

「あつい壁」から「新あつい壁」へ
— 中山節夫監督作品から学ぶこと —

担当　松尾　一

1　1969年「あつい壁」の背景
⇒上映は1970年（自主上映）

△ ハンセン病患者の隔離（強制収用）政策 ⇒ 本人のみではなく，家族への偏見・差別に及んでいた

◎ 〈差別・偏見の背景〉

※ 「業病」(遺伝病)
※ おそろしい「伝染病」(皮膚感覚の差別も含む)
※ 後遺症への偏見（外見への嫌悪・蔑視）

＊ 近代医療 ⇒
※ 「遺伝病」ではありえない「感染症」
※ 感染力の極めて弱い「感染症」
※ 日常生活での「感染」はありえないことの証明

▲ 「隔離」の必要性の医学的根拠なし（1960年には少なくとも医療行政的にも「認識」は認識は形成されたいた）
☆ 後遺症による身体への「障害」も，実質は戦前の療養所で行われた「強制労働」による「労働災害」が多く含まれるという実証がある
☆ 「外科的後遺症」⇒「公的扶助」・「社会保障」・「社会福祉」の対象とする根拠 ← 現代社会 ＝「老人」・「障害者」の一人として「存在」(「いわゆる「普通（カタカナ)」のフツーの人　ただし，表現法としては問題アリ)

2 「らい予防法」の廃止と「国賠訴訟勝訴」の意味

1996年　「らい予防法」の廃止 ⇒「法律」としての問題性 ＝「ハンセン病」への差別を，近代的差別（感染症対策＝社会防衛）の上に成り立たせる

※ 「社会的差別」⇒ おそろしい伝染病という偏見を国家が国民に噴霧し，その「法的根拠」を与えている法律

2001年5月21日
「らい予防法」違憲国家賠償請求訴訟（熊本地裁）原告勝訴
⇒ なぜ「人間回復の裁判」であったのか？

1946年「日本国憲法」公布 ⇒「らい予防法」自体の「違憲性」
1953年「らい予防法」＝ 13条「個人の尊重，幸福の追求の権利」
「すべて国民は，個人として尊重される。生命，自由および幸福追求に対する権利については，公共の福祉に反しない限り，立法その他の国政の上で，最大の尊重を必要とする。」
22条1項　「居住・移転・職業選択の自由，外国移住の自由・国籍離脱の自由」
① 「何人も，公共の福祉に反しない限り，居住，移転及び職業選択の自由を有する。」

1960年　犀川一夫　長島愛生園退職 ⇒「台湾」で在宅医療を展開
1963年　全患協「らい予防法改正要請書」を厚生大臣（当時）へ提出

この後，「隔離」自体は，公然とした「憲法違反」状態へ（人権抑圧）

1　「療養所医師」による隔離否定＝退職・台湾渡航
2　患者・元患者による隔離政策の終了要請＝行政への「要望」

☆　約40年間近く⇒　行政・立法・司法の「無作為」の状態
☆　入所者の立場からすれば，「人権抑圧状態」の放置（厚生省は「人権抑圧機関」）

3　映画・文学作品のなかにハンセン病
— なぜ中山作品が大切なのか —

☆　松本清張「砂の器」との対比から

1974年　野村芳太郎監督作品（松竹・橋本プロ提携作品，1962年に初シナリオ，
1975年　当初，野村の助監督の山田洋次も参加）
原作　1960年（『読売新聞』に１年間連載）⇒長編・社会派推理小説

『砂の器』の反響　⇒　1　日本映画ベスト10（『キネマ旬報』）２位，２『キネマ旬報』読者投票１位，３　興行成績「ベストテン(邦画)」３位

☆『砂の器』と私たち
〈反省と自己批判〉
私たちは，毎年に繰り返される8月15日（敗戦・終戦）や広島・長崎の原爆をテーマとしたドラマ・映画に対して，あたかも，遭遇し被災した人びとに対して，「地震」・「洪水」・「噴火」などの自然災害がもたらした，あたかも避けがたかった運命のドラマのように見てはいはしないか。こうした運命のようなドラマに，思わず「涙したり」，「共感を感じたり」してこなかったであろうか。あるいは，15年戦争化の悲惨・陰惨な体験をした「日本人」を描いた戦争作品に対して，「まるで生まれた時から，その人物が戦争に遭遇し，悲惨な体験をするような運命に定まったドラマのような人生きた」として，それらの作品に涙してこなかったか？

〈「小泉発言」の不用意さと無恥さ〉
小泉純一郎（前首相）は，2001年５月の熊本地裁国倍訴訟の判決を受けて，自分は「砂の器」を見たから，よくハンセン病のことは理解している，と発言。

「あつい壁」（中山作品，シナリオ　横田与志）
＊　約75分の啓発映画，自主上映委員会による全国上映

◎　作品の背景
国立ハンセン病療養所菊池恵楓園に付設された「龍田寮」児童・生徒

患者の家族の位置づけ ⇒「未発症」（家族の「隔離」による社会からの分断）
＊　一家の主たる「稼ぎ手」を療養所に隔離された家族は，「生活」と社会からの差別・偏見のために，社会からの分断に応ぜざるをえない背景が生じた（「未発症」の家族への偏見的・差別的レッテルは，就業を困難にさせ，患者の隔離政策が，家族の失業・未就労という問題を産んだ

＊　犀川一夫の証言 ⇒ 1960年の段階で，２年間の通院治療で完治，低い感染力で，乳幼児期以外の母子感染否定

※　家族（子ども）の「未発症」ということはありえない ⇒「未感染者」の隔離・家族の「別学」ということが人権侵害
※　家族の「別学」（付設学校への通学）自体が著しい人権侵害であることは行政も認識
⇒　厚生省は，医学的根拠から「別学」廃止の方針
⇒　文部省・教育委員会，人権侵害であること前提として「学級」自体の廃止
1960年頃 ⇒「教職員組合」を中心とする社会民主化とも連動

☆「龍田寮事件」
イ　ＰＴＡ保護者による「龍田寮」児童の就学拒否運動
⇒「草の根」差別主義と公然とした「差別運動」
ロ　同盟休校事件
⇒　寮生の新１年入学を拒否するために「児童」の

登校を保護者が拒否

ハ 「龍田寮」自体の廃止という決着の問題点

i 教育委員会・療養所（医師）⇒ 医学的根拠のない差別は受け入れられないとするが，強力にＰＴＡを説得したわけではない

ii 保護者 ⇒「ハンセン病」に対する無知と偏見⇒ 国が患者・元患者の隔離政策を廃止していないのに，通学対象となる学校の保護者のみに「信じろ…」と主張することの矛盾

iii 龍田寮の廃止や「里親」という方法での決着⇒「患者」の家族の解体

4 「新・あつい壁」（趣意に添付して）

① 熊本地裁判決から５年（2007年）の意味

イ 「人格権訴訟」（靖国訴訟では，宗教的人格権は「否定」）

ロ 「自由権訴訟」⇒ 憲法訴訟上での画期的問題提起＝しかし，背景には厳しい「人権抑圧状況」の存在

② 1998年以前（らい予防法＝1953年改正）下の「法の下の平等」

i 医療刑務所・拘置所が菊池恵楓園内に付設されていた事実

裁判は「医療拘置所」で出張して行われていた

ii 「判決」の言い渡しに弁護人が欠席（藤本事件 ＝ 死刑判決）

裁判官・検事のみならず弁護人自体のハンセン病への偏見・差別

iii 裁判自体の「差別性」

iv 刑の執行自体の差別性

※ 再審請求 ⇒

公正な裁判を求めるという「平等権」をもとに行われた

※ 差別裁判 ⇒

差別裁判の結果としての「冤罪」の可能性

（未完）

教育研究報告

英字新聞を活用した情報伝達活動の英語授業実践

金城　博之

A Report on English Class Using Newspaper Articles and Communicative Activities

Hiroyuki KINJO

How can we attract students who seem to have little interest in learning English? This is the question that I have always been asking myself throughout my teaching career, and especially, since I began teaching in College of Technology. English taught in this kind of college should be practical so that the students could clearly imagine themselves using the language in their work or in their fields. Otherwise English class might end up being a torture which most of them have to go through for necessary credits for their graduation. Considering the most characteristic features of College of Technology is to educate future engineers, I decided to use newspaper articles in my reading class in order to stress practical aspects of English as a communication tool. Therefore in this paper, I try to show the effectiveness of fast reading and summary, through analyzing the pre- and post-questionnaires. Then the types of well-accepted newspaper articles will be examined through analysis of the vocabulary of each article used in the class.

1．はじめに

現在小学校への英語教育導入を巡って様々な議論がなされているが，それは中学校に始まる学校英語教育施策が思うような成果を残せていない，或いは学校英語が十分実践的でないなどの指摘に端を発するように思われる。実はこのような指摘は英語を学校英語に取り入れ始めた初期の段階から存在してきたものなのだが（金谷 2007），英会話教室のように少人数のクラスではなく，習得状況も様々な生徒に一斉授業で言語を教えるのは困難を伴うことは，中高大問わず多くの教員が感ずるところであろう。

しかし，工業高等専門学校（以下高専）の学生は，一般的に就職先や編入先で，その高等学校教育を受けてきた生徒達と比べても英語力において劣っているという厳しい評価を頂いているようである。「高専英語教育に関する調査研究委員会」(2002）によると，企業と編入先の大学では，高専卒業生は「英語学力が不足しており，特に単語（語彙）力，読解力，あるいは文法力がないという見方で一致している」。確かに暗記や文法的な知識は語学学習の持つ地味で単調な側面であり，高専のように先細りのカリキュラムで，しかも大学入試のような英語を学ばざるを得ない差し迫った状況のない在学中に，学生が英語力をつけていくのはなかなか難しいことのようだ。

では高専では，どのような英語の授業なら学生のモチベーションが上がるのだろうか？ 一般に高専生は，就職に対する意識が高いと考えられる。そのため低学年での基礎の徹底と実用性のバランス，高学年ではより実用性に重きを置いた指導が学生を一つの目標に導く手段となるのではないだろうか。そこで平成18年度に3年生の英語演習Ⅱを担当するにあたり，教材として英字新聞を使用することにした。「実用性」のある教材とは何か考えた時，情報収集のための英語と捉え，社会で話題になっていることや科学分野の内容も教材として扱えば学生の興味・関心を高めることができるのではないかと考えたからである。

英字新聞はそれ自体教材として真新しいものではなく，先の調査でも実際多くの高専の教員が授業で使用したい教材と考えている（23)。しかし英字新聞を授業で使用した場合，特に語彙力が不足しているとされる高専生にとってどのくらい負担があるのだろうか？ 中條・長谷川（2006）によると日本国内で発行されている英字紙を「なんとか読める」のに必要な語彙力は，最低6,000語レベルということが明らかにされている。

平成19年３月26日　受理

西澤（2003）は，高校生が5,000語～6,000語が英語学習を成功させる一つの目安と考えており，そのラインが高校卒業時に目標とすべき語彙数と提案している。そこで今回は高専の3年生に英字新聞を教材に授業を行い，実際に個々の記事をどのように処理し，どのような感想を持ったのかを調べることにした。それぞれの記事を分析し，どのレベルの記事が学習意欲を高め，教材としてふさわしいといえるかを考察した。

また今回は，より実用性を持たせるため速読と要約を指導に取り入れ，どのような効果が期待できるかを観察することにした。「読む」活動の目標を，日本語訳を前提とした精読に限定せず，できるだけ速く情報を得る読み（速読活動），その情報を他者に伝える（要約活動）ことを目標にする授業展開を行い，道具としての側面を強調し，結果的に学習意欲が高まることを期待した。毎時間英字新聞を使用し，速読活動・要約活動・新出語の発音練習を通し，学生が教材とそれぞれの活動にどのように取り組んだか事前・事後アンケートを通して考察することとした。

2．対　象

対象とするのは久留米工業専門高等学校3年制御（男子33名，女子6名，計39名）で，半期科目・英語演習Ⅱ（90分2単位）の授業で，週2回の授業である。このクラスには英語に対して強い興味を抱いている学生もいて，学生の中には，英字新聞を購読しているものや参考書で編入試験に向けた学習を既にスタートしている者もいる。3年になって進路のことを考え始め，クラス内でいい意味での競争が生まれつつある段階といえる。特に前の座席の学生は積極的に質問することが多く，後ろの学生も発表などの際には積極的に黒板に答えを書くなど，全体に活気のある授業が展開できた。以下が授業初日に行った英語に関するアンケート結果をまとめたものである。

図1 英語は好きか嫌いか

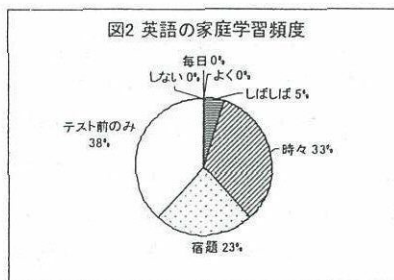
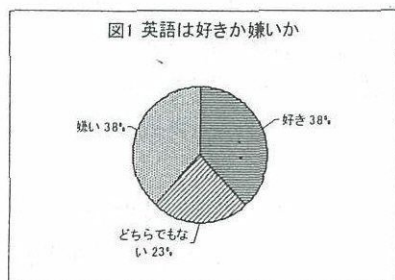
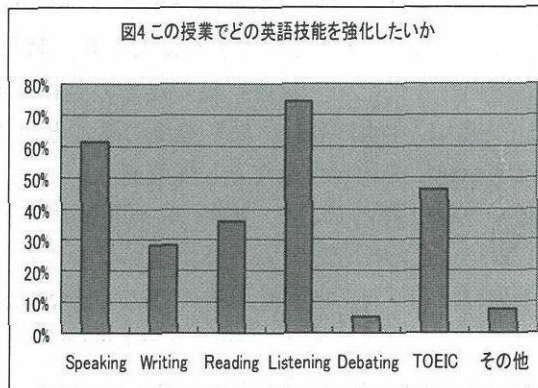
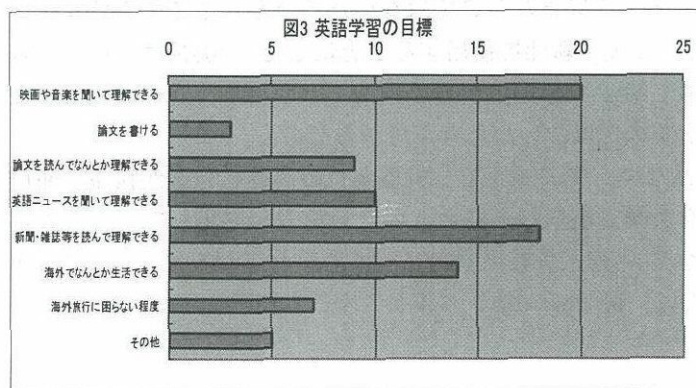



図2 英語の家庭学習頻度

左の図1にあるように，英語は38%（15名）が好き，同じく38%（15名）が嫌い，残る23%（9名）がどちらでもないと答え，見事に拮抗していた。「英語の家庭学習頻度」（図2）では，「毎日」勉強する学生は1人もいなかったが，「よく」と「時々」学習すると答えたものが38%（15名）いた。「宿題のみ」，「テスト前のみ」が過半数を占め（61%），英語学習にとって好ましい学習習慣がついているとは言い難い。下の図3の「英語学習の目標」（複数回答可）では，「映画・音楽が理解でいるようになりたい」，「新聞が読める」，「英語ニュースが理解できる」の順で，ついで「海外生活で困らない程度」が来た。「論文を読める程度」や「仕様書の類が読めるように」が10名前後おり，実際の場面で使える英語を求める傾向が強いクラスといえる。「学びたい4技能」（図4）では，listening（74%），speaking（62%）が多く，reading（36%）とwriting（28%）は少なかった。これは今までの授業が主に読解中心であったことと，writingは一般的に負

図3 英語学習の目標

図4 この授業でどの英語技能を強化したいか

担も大きいため敬遠される傾向があるからであろう。またこのクラスの46％がTOEICの得点向上に対して高い関心を持っていることも特徴の一つとしてあげられる。

3．授業内容

授業は説明のほとんどを日本語で，説明の際や英問英答等必要に応じて英語で行った。まずWarm UPとして，簡単な会話をペアで行った。内容は「英語での説明の仕方」であった。工場などで外国人労働者に英語で説明しなければならないなどの状況がありえるので「説明の仕方」をテーマにしたが，関係代名詞を用いた説明の仕方は英語の基本的な語順を知る上でも慣れておいたほうが良いと思われる。学生は与えられたキーワードを英語で説明する。場合に応じて，相手にはキーワードを見せずに推測させるクイズ形式にしたり，相槌表現などを入れさせたりして相手が真剣に聞くように工夫した。

記事は主に筆者が購読しているthe Daily Yomiuriから抜粋し，教材として使用しやすいよう加工したものを使用した。他にも話題性や即時性を考慮して，他の日本で発行されている英字紙やインターネットから記事を集めた。形式はB4版で1枚，裏と表にその日に使用する同一の記事を載せた。表面にはその記事をそのまま，裏面には書き込みと教師の説明書きが可能なようにスペースを空けておき，学生は授業の説明などのメモをそこに取り，自宅やテスト前に復習する時は表面のメモの無い面を読みもう一度読解を試みるように指導した。下の図5が今回使用した記事のタイトルと出典である。

図５　使用した記事及び出典

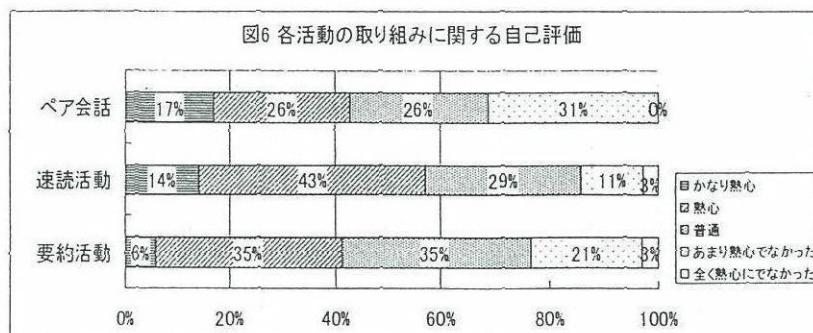
	日本語タイトル	英語タイトル	出典※
①	ラップトップコンピュータ発火訴訟（社会）	Toshiba may sue Sony over laptop batteries	DY
②	代理出産（医療）	Woman gives birth to own grandchild	DY
③	ソフトバンクの通話料ゼロ作戦（社会）	Softbank undercuts rivals with new fee plan	JT
④	北朝鮮経済制裁（国際政治）	N. Korea sanctions adopted	DY
⑤	ディープ凱旋門賞失格（スポーツ）	Deep Impact fails drug test	Lint
⑥	日ハム優勝（スポーツ）	Nippon Ham wins Japan Series	Lint
⑦	履修漏れ問題（教育）	Teaching to the test' method discovered at hundreds of high schools	DY
⑧	赤ちゃんポスト（医療）	Hospital to set up a "baby box" for unwanted babies	A
⑨	いじめによる自殺予告（教育）	Note threatening suicide says Ishihara's comments made them feel worse	M
⑩	愛媛の腎臓移植（医療）	Ehime hospital in trouble over kidney transplants	Lint
⑪	ひよこ饅頭訴訟（社会）	Bird-shaped bun claims ruled patently absurd	DY
⑫	指の長さと運動能力（科学）	Finger length linked to female sporting potential	R
⑬	流行語大賞（社会）	Ice-skating term tops '06 words	DY
⑭	冬眠状態で一命をとりとめる（社会・科学）	'Hibernating' brain saved life	DY
⑮	渋谷殺人事件（社会）	Wife, husband argued bitterly before murder	DY
⑯	ジャングル少女見つかる（国際）	'Jungle Woman' gives no clues to past	AP

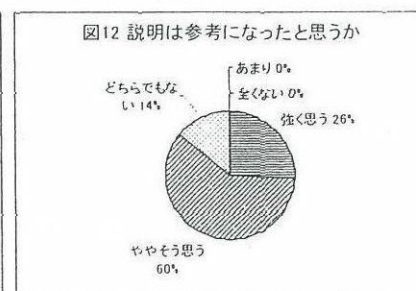
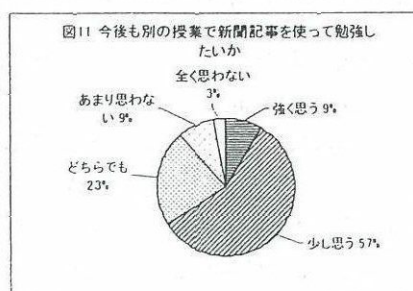
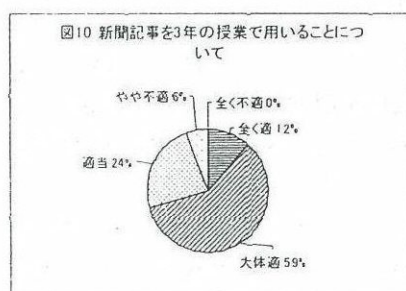
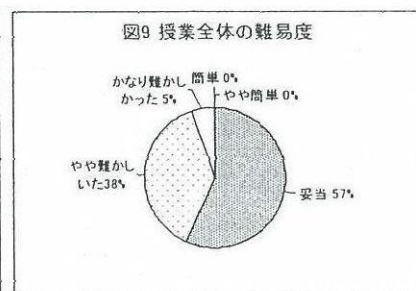
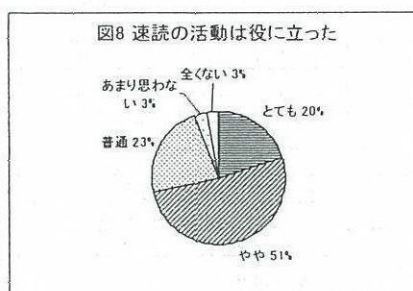
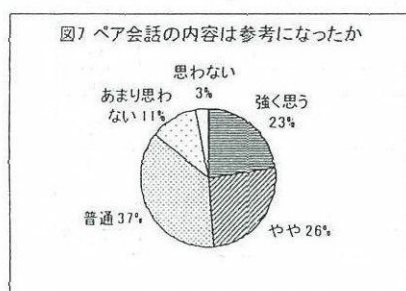
出典： DY=the Daily Yomiuri, JT=the Japan Times, Lint=Lint Weekly Newswrap,
A=the Asahi Shinbun, M=Mainich Daily News, R=Reuters, AP=Associated Press

学生は配布と同時に今日の記事の語数を記録用紙に記入する。教師のスタートの合図で一斉に読み始め（黙読），全部読み終わる時間を確認し，その秒数とwpm（1分間に読む単語数）を記録し伸びを把握させ，意欲の持続を狙った。理解を確かめるため毎回速読活動の後には，ペアで30～60秒間読み取った内容を相手に伝える活動をさせた。ペアのうち片方が要約し，もう片方はそれを聞き必要に応じて内容を加えたり訂正させたりするピアチェックの時間を5分程設けた。厳密に要約とすると日本語力もかなり要求されてくるので，要約に特に指導は与えず，読み取った点を日本語で挙げるだけで良いとした。Warm Upはペア要約の伏線となり，要約は速読に伝達という意味を持たせるための活動である。要約自体が知的な能力を必要とするため，実施前に実生活で要約がどれほど必要とされるかその意義を十分に説明した。

以上の活動の後，英語での簡単な内容に関する質問，記事の背景を英語で説明した後，単語の発音，意味，記事の文法的説明など必要な説明を加えた。「Warm Up，速読，要約，英語での質問，説明」が前半の授業の進め方であった。後半はより速読と要約に焦点を絞るため読み始める前に辞書を使って単語を調べさせて単語の負担を減らし，ボランティアで意味を黒板に板書させて全員で単語の意味を確認した。つまり「Warm Up,

単語調べ，速読，要約，英問英答，説明」の順で行うことにした。

4．授業後アンケートの結果

授業最終日に無記名アンケートを行い，学習を終えての意識調査を行った。まず左の図6は各活動への取り組みを表している。各活動とも「かなり熱心に取り組んだ」「熱心に取り組んだ」「普通に取り組んだ」をあわせるとそれぞれ69%，86%，76%であったことから，クラスの大半はしっかり取り組んだことになり，総じてまずまずの取り組みであったと考えられる。会話活動は好き嫌いが分かれた活動のようで，「全く熱心でなかった」ものは全くいなかったが，「あまり熱心でなかった」としたものが31%おり，図1の英語が嫌いと答えた39%の学生が取り組まなかった可能性がある。Warm Up 活動なのであまり時間をかけられず，指導が不十分であったことと，ペアの相手の取り組み状況により影響を受けるため等の要因が考えられる。今後の課題としたい。同様に速読，要約の取り組みが不十分であった学生の割合は，速読14%と要約24%であまり多くないので取り組み状況は良かったが，これらの学生への対応が今後の課題である。

次にペア会話（Warm Up 活動）の内容について参考になったかどうか聞いたところ，約半数が肯定的に答えた。反対にあまり役に立つ内容と思わない者は14%にとどまった（図7）。ロールプレイ等を用いたり，問題解決型にするなど，与え方の工夫をすればさらに実用度が認識され効果が上がるものと期待できる。また，速読の重要性は十分認識されており，図8に見て取れるように71%の学生が速読活動は参考になったとしている。

「授業全体の難易度」（図9）は「妥当」であると答えたものが過半数（57%）を超え，かなり難しいと感じたものは2人だけだった。「英字新聞を3年の授業で用いたことに対する感想」（図10）は「全く適している」「適している」を合わせると71%であったので概ね好評であったと言える。「授業での説明は参考になったか」（図12）の質問には86%が肯定的に答えており，反対に否定的な回答はなかったことから，多くの学生が何かを学ぶことができたと実感できた授業であったと思われる。この結果が，図11の「今後別の授業でも英字

新聞を使って勉強したいか」の問に66%が肯定的な回答をしたことに繋がっており，学生の学ぶ意欲を幾らか喚起できたものと推察される。

5．使用記事と学生の反応の分析

今回の授業で記事を選ぶ際に最も注意した点は，最新の記事からもっとも学生の興味を引きそうなものを用いるようにした点であった。出来るだけ身近な事柄から，できるだけ話題性のある内容を選ぶよう心がけた。また，学生の英語力と語数・語彙・構文の難易度を念頭に置いて記事を選択した。上の図9で授業の難易度に関して，「かなり難しい」と答えたものが全体の5%に過ぎなかったことから，説明があればほぼ理解可能な難易度であり，過度の負担とならなかったという意味で妥当な選択であったようである。

では実際にどういうタイプの記事がもっとも学生に受け入れられたのだろうか。彼らの実生活に即したものであるとか，専攻に関係のあるもの，少ない語彙で理解できるもの，趣味に関係するものなどが好まれたのだろうか。高専生に対して行われた先行研究（塩谷 2006）によると，科学技術的分野のニュースの「知っていた度合い」はそれ以外の分野のニュースに比べて高いとは言えず，「視聴した後の感想」においても両分野の間でほとんど差がなかった。これは高専生ではあっても，3年生の時点では専門知識もそれほど多くなく，寮生が数名含まれていて新聞やテレビなど十分な情報収集のできる環境にいない場合や，科学分野以外のニュースにも同程度の興味関心があるためと考えられる。今回の授業でも科学系のニュースにこだわらず，幅広く素材を集めた（図13，図14）

図13

	記事の感想	
⑦	履修漏れ問題(教育)	1.8
④	北朝鮮経済制裁(国際政治)	2.0
⑧	赤ちゃんポスト(医療)	2.1
②	代理出産(医療)	2.1
⑮	渋谷殺人事件(社会)	2.2
⑭	冬眠状態で一命をとりとめる(社会・科学)	2.2
⑩	愛媛の腎臓移植(医療)	2.3
⑫	指の長さと運動能力(科学)	2.3
①	ラップトップコンピュータ発火訴訟(社会)	2.4
③	ソフトバンクの通話料ゼロ作戦(社会)	2.4
⑥	日ハム優勝(スポーツ)	2.4
⑨	いじめによる自殺予告(教育)	2.6
⑪	ひよこ饅頭訴訟(社会)	2.7
⑤	ディープ凱旋門賞失格(スポーツ)	2.8
⑬	流行語大賞(社会)	2.8
⑯	ジャングル少女見つかる(国際)	2.8
	平均	2.4

図14

	授業前に知っていた	
⑥	日ハム優勝(スポーツ)	1.4
③	ソフトバンクの通話料ゼロ作戦(社会)	1.5
⑦	履修漏れ問題(教育)	1.5
⑤	ディープ凱旋門賞失格(スポーツ)	1.8
⑨	いじめによる自殺予告(教育)	1.9
⑮	渋谷殺人事件(社会)	1.9
④	北朝鮮経済制裁(国際政治)	1.9
⑬	流行語大賞(社会)	2.0
⑭	冬眠状態で一命をとりとめる(社会・科学)	2.1
①	ラップトップコンピュータ発火訴訟(社会)	2.3
⑩	愛媛の腎臓移植(医療)	2.3
②	代理出産(医療)	2.3
⑪	ひよこ饅頭訴訟(社会)	2.5
⑯	ジャングル少女見つかる(国際)	2.5
⑧	赤ちゃんポスト(医療)	2.5
⑫	指の長さと運動能力(科学)	2.9
	平均	2.0

上の図の中で各タイトルの右の数値は，塩谷（2006）を参考に，使用した記事毎に「知っていた度合い」（1よく知っていた／2少しは知っていたがあまり知らなかった／3知らなかった），「記事の感想」（1大変ためになった・強い関心を持てた／2少しためになった・少し関心を持った／3まあまあ・知っていたほうが良い位の内容／4関心は持てなかった・知らなくてもいい内容）の数値で答えてもらい，それを平均した数値である。

「授業前に知っていたかどうか」と「記事の感想」の間に有意な相関は見られなかった。これは⑫の「指の長さと運動能力」，⑧「赤ちゃんポスト」，②「代理出産」のように授業前にはあまり知らなかったが，実際に読んだ結果得られた情報が学生にとって興味深いものと認識されたため高い評価を得たからであろう。「授業前に知っていた」度合いの高い項目は，スポーツ・社会・教育分野で，⑥「日ハム優勝」，⑦「履修漏れ問題」等のように話題性の高いものと，③「携帯電話」や⑨「いじめ」等の身近なトピックについては比較的良く知っている傾向がうかがえた。「記事の感想」にも話題性や情報の満足度が，その記事の感想に影響を及ぼしているようである。また特に意外であったのは，コンピューターを良く使う学科であるにもかかわらず記事①「ラップトップコンピュータ発火訴訟」があまり知られておらず，感想も良くなかった点であった。

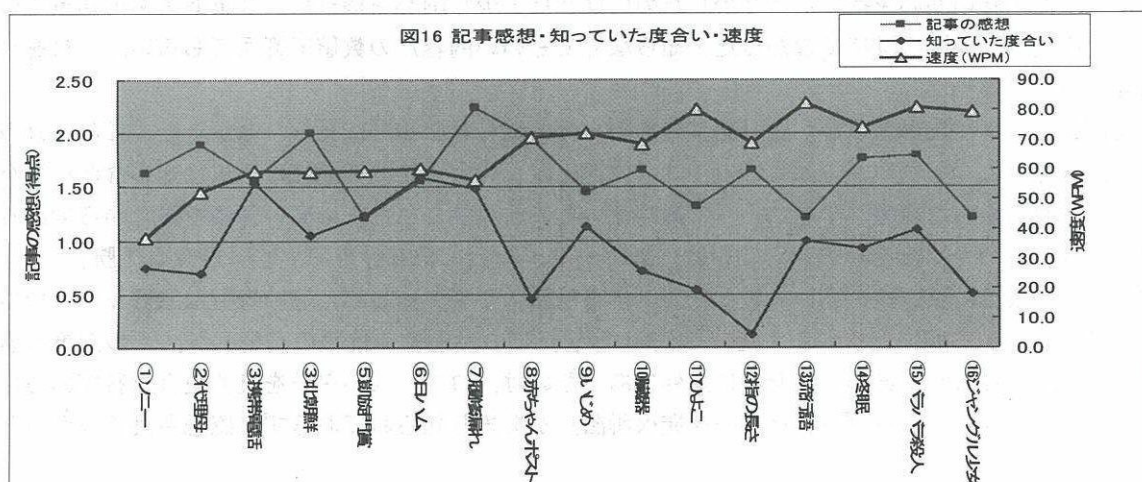
全体の平均値を見ると，「知っていた度合い」が2.0，「記事の感想」は2.4である。知っていた内容と知らなかった内容の数は全体として拮抗しており，教材のバランスは良かったと言える。「記事の感想」では，平均2.4であり，記事の選択に関しては，学生は好感触を持ったと考えられる。

次に一般的に高専生の語彙力が低いと考えられるので，語彙の面からこれらの記事を分析した。英文の内容理解と語彙サイズの関係に関しては，これまでにも研究がなされてきた。一般に既知語の割合が95%が英文理解に必要とされる語彙力とされおり（Nation 2001），現在のところこの95%が有力である。英字新聞各紙の語彙レベルに関する調査（中条・長谷川 2003）によると，Adam Kilgarriff によりインターネットで提供されている頻度順リスト[1] の平均6,535語に相当する語彙が最低限必要になることが推測されている。

本研究においてはより日本人英語学習者に即したオンラインで検索可能な語彙リストである株式会社アルクの標準語彙水準12000[2] を語彙リストとして用い，それぞれの記事が語彙の面でどのレベルであるか分析した。各記事の総語彙数の内95%以上が理解可能となる語彙レベルをその記事の語彙レベルと捉えて考察を試みた結果が下の図15である[3]。

95%の理解のためには本調査で用いたリストでも約6,000語以上が必要であったことが分かった。やや難しめの語を含む⑩愛媛臓器移植，⑬流行語大賞でも極端に感想が下がったり速度が落ちるということはなかった。また2,000語，5,000語，8,000語カバー率と感想および速度との相関を調べてみたが，有意な相関を見出すことはできなかった。

図15　各記事の語彙レベルカバー率

	記事名	①ソニー	②代理母	③携帯電話	③北朝鮮	⑤凱旋門賞	⑥日ハム	⑦服装乱れ	⑧赤ちゃんポスト	⑨いじめ	⑩臓器	⑪ひよこ	⑫指の長さ	⑬流行語	⑮冬眠	⑮バラバラ殺人	⑯ジャングル少女	平均
A	TOKEN	81	177	190	162	92	118	101	262	197	106	217	181	220	202	209	185	168.8
B	TYPE	58	86	101	94	51	65	69	136	92	61	103	92	117	95	101	98	88.69
C	Ⓑ/ⒶRATIO	71.6%	48.6%	53.2%	58.0%	55.4%	55.1%	68.3%	51.9%	46.7%	57.5%	47.5%	50.8%	53.2%	47.0%	48.3%	53.0%	54%
	未分類	7	0	4	4	3	4	6	4	5	3	0	7	7	5	1	2	3.875
L1	1-1000	60.3%	55.8%	54.5%	52.1%	56.9%	58.5%	60.9%	63.2%	67.4%	65.6%	57.3%	67.4%	54.7%	69.5%	74.3%	78.6%	62%
L2	-2000	74.1%	73.3%	71.3%	68.1%	76.5%	75.4%	78.3%	83.8%	81.5%	73.8%	77.7%	82.6%	72.6%	76.8%	84.2%	85.7%	77%
L3	-3000	82.8%	82.6%	80.2%	77.7%	86.3%	84.6%	88.4%	91.2%	91.3%	77.0%	84.5%	89.1%	82.9%	87.4%	90.1%	90.8%	85%
L4	-4000	89.7%	90.7%	89.1%	87.2%	92.2%	86.2%	94.2%	94.1%	94.6%	82.0%	92.2%	93.5%	88.0%	93.7%	92.1%	96.9%	91%
L5	-5000	93.1%	93.0%	90.1%	92.6%	92.2%	89.2%	97.1%	95.6%	95.7%	88.5%	92.2%	97.8%	91.5%	96.8%	95.0%	98.0%	94%
L6	-6000	94.8%	94.2%	92.1%	97.9%	92.2%	93.8%	100.0%	97.1%	96.7%	90.2%	95.1%	98.9%	92.3%	97.9%	96.0%	98.0%	95%
L7	-7000	94.8%	94.2%	95.0%	98.9%	98.0%	96.9%	100.0%	98.5%	97.8%	91.8%	96.1%	100.0%	94.0%	98.9%	97.0%	98.0%	97%
L8	-8000	98.3%	95.3%	97.0%	98.9%	98.0%	98.5%	100.0%	100.0%	98.9%	96.7%	98.1%	100.0%	97.4%	98.9%	99.0%	98.0%	98%
L9	-9000	100.0%	96.5%	99.0%	100.0%	98.0%	98.5%	100.0%	100.0%	100.0%	98.4%	98.1%	100.0%	99.1%	98.9%	99.0%	100.0%	99%
L10	-10000	100.0%	97.7%	99.0%	100.0%	98.0%	98.5%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	98.1%	100.0%	100.0%	98.9%	99.0%	100.0%	99%
L11	-11000	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	98.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	98.9%	99.0%	100.0%	100%
L12	-12000	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100%
速度(WPM)		36.9	52.4	59.4	59.1	59.6	60.1	56.6	70.6	72.2	68.2	79.8	68.9	82.2	74.1	80.6	79.0	66.2
記事の感想得点		1.63	1.89	1.58	2.00	1.21	1.55	2.24	1.95	1.45	1.66	1.32	1.66	1.21	1.76	1.79	1.21	1.63
知ってた得点		0.74	0.69	1.54	1.05	1.23	1.59	1.49	0.46	1.13	0.72	0.54	0.13	1.00	0.92	1.10	0.51	0.93

記事の感想と読みの速度（WPM：一分間に読んだ語数）をグラフにすると図16の通りである。初回は不慣れなため低い数値であるが，その後約60語で安定している。恐らくこのWPM60語が本校の高専生が初見の新聞記事を読む際の速度の目安になるだろう。⑪以降は指導法を変え，語彙のヒントを増やした。このことにより語彙不足による障害が少なくなり，内容を予測することが容易になった結果，速度自体が20語程向上したが，⑪以降でも緩やかな上昇が見られる。

逆に⑪以降は記事内容に関する感想は下降傾向にある。その理由として，

①「知っていた度合い」の低い内容の記事が続いたこと，

②語彙はわかるようになったが，語彙説明により速読活動の緊張感がやや間延びしてしまったこと，

③その結果速読に挑戦しようという気持ちをそいでしまったこと，

などが考えられる。指導方法の改善を要する点である。また⑩，⑫，⑭の記事のように比較的興味関心が高かった回においては，むしろゆっくり読もうとする傾向も見られると分かった（図16）。このことから学生が関心を持つであろう教材を使う場合にはむしろ時間を充分にとる配慮が必要であることも分かった。

6．まとめ

新聞記事を教材に選ぶ際にどういった基準で選ぶ必要があるか。英語に苦手意識をもっている学生が多いことから，身構えずに読める程度の語数を持った記事を選択する必要がある。今回の平均語数170語に対して，妥当ないし少ないと答えたものが全体の約9割を占める事から170語以上200語程度なら学生の負担は少ないと考えられる。

3年生の段階では，専門分野に興味はあるものの，クラスで読む英文の内容は科学記事が特に好まれるというわけではないので特にこだわる必要は無い。将来専門分野の科学的な文章を読む可能性は高いが，英語が苦手な学生も多いこの段階ではそれにこだわる必要もないのかもしれない。例え知っていた度合いが低いものでも，新たな発見があるような記事では感想も良かった。

学生は，未知語を含んだ状態では英字新聞の記事を 60wpm 程度のスピードで読む。上で述べたように1回の授業では170～200語程度の記事を妥当と考えているので，3～4分程度時間を与えて読ませると良い。語彙を説明した後であれば2分～3分程度の時間で良いであろう。ただし，興味を持ちそうな記事には十分な時間を与えたほうが良いことが分かった。

「ペア会話」「速読」「要約」に関して，特に「速読」に関して満足度が最も高く，次いで「要約」だった。「ペア会話」は授業の Warm Up として授業の活性化の機能を果たしてはいるものの，さらに多くの学生を巻き込むための工夫が今後の課題である。当初の計画では，前の週の記事を説明させるなど学習内容との関連付けと要約活動へのステップとする狙いもあったのだが，そこまで至らなかった。学生のコメントから会話はほとんど授業でしたことがないようなので，今後も授業の中で取り組みたいと思う。

今回の授業は3年生を対象にどのレベルの英字新聞をどう扱えばどのように学生が反応するのかを観察した。週2回の授業で学生の学習状況を絶えずモニターしながら，数誌の中からレベルのあった記事を選択し，プリントを作成していくのは骨の折れる作業だった。だが最も効果的な授業を目指すには適切な教材を選ぶこともさることながら，指導法の確立も大切なのは言うまでもない。今後は事前・事後テスト等を用いて，どの習熟度レベルの学生にとって実際にどの程度の学習成果があったかを調べ，要約および速読活動の効果を分析するなど，一斉指導における効果的かつ満足度の高い授業指導法を模索していきたい。

註

1）http://www.itri.brighton.ac.uk/~Adam.Kilgarriff/

2）「アルク標準語彙水準（SVL=Standard Vocabulary List）12000語」 http://www.alc.co.jp/goi/svl_ichiran1.htm

3）語彙リストの使用と分析の手法は西島（2002）と中條・長谷川（2003）の研究を参考にさせていただいた。

参考文献

金谷　憲(2007)『「英語が使える日本人」の育成のための行動計画　文科省英語教育政策の成果と積み残したもの』 英語展望　No.114 30-35.

小林敏彦(2000)「日米英の英字新聞の質的・量的比較 —翻訳英文の教材としての適正を検証する—」大学英語教育学会　全国大会要綱 37, 19-20.

塩谷三徳(2006)“Effectiveness of the Daily TV news in English as Teaching Materials.”全国高等専門学校英語教育学会研究論集　第25号　19-28.

全国高等専門学校英語教育学会高等英語教育に関する調査研究委員会(2002)「高等専門学校における英語教育の現状と課題 —新しい高専英語教育を目指して— 高等専門学校の特色を生かした英語教育カリキュラム作成に向けての企画調査」

中條清美, 長谷川修治(2003)「時事英語の授業で用いられる英文素材の語彙レベル調査—BNC (British National Corpus) を基準にして—」時事英語学研究, 第42号, 51-62.

西澤正幸(2003)「語彙数はどれだけ必要か？」　英語教育　第52巻, 第7号, 8-10.

西嶋愉一(2002)「英語テキストのレベル診断」2002PCカンファレンス発表論文
http://www.ciec.or.jp/event/2003/papers/htdocs/kana_n.html

Nation, I.S.P (2001)「Learning Vocabulary in Another Language」Cambridge: Cambridge University Press.

学術研究報告

2橋絡み目のQ多項式のチェビシェフ多項式による表示

中坊　滋一

Q-polynomial of 2-bridge links in terms of Chebyshev polynomials

Shigekazu NAKABO

We give a presentation of the Q-polynomial of 2-bridge knots and links in terms of Chebyshev polynomials. It is presented by a summation of products of some Chebyshev polynomials which are parametrized by the Conway's normal form of 2-bridge knots or inks. We exhibit that some curious rules control the coefficient polynomial of each summand.

1　はじめに

まずは頭の体操，あるなしクイズから始めよう．$\{1,2,3,4\}$ と $(0,0,0,0)$ の組には1つあり，$\{1,4,5,6\}$ と $(0,0,0,0)$ の組には2つあり，...，$\{1,3,4,6\}$ と $(1,0,1,1)$ の組にはなく，...と表1のように，2種類の数の列の組から"あるもの"がいくつあるかが決まる。さて，表1の？の場所に入る"あるもの"の個数はいくつだろうか？さらに，$\{1,2,4,6\}$ と $(1,-1,0,1)$ の組にはいくつあるだろうか？(解答は本稿最後に)

表 1: "あるもの"はいくつ？

	$\{1,2,3,4\}$	$\{1,4,5,6\}$	$\{1,3,4,6\}$
$(0,0,0,0)$	1	2	3
$(1,0,0,0)$	0	1	2
$(1,0,0,1)$	0	0	1
$(1,0,1,1)$	0	0	0
$(1,1,0,1)$	0	0	0
$(0,1,-1,0)$	1	2	3
$(1,1,-1,0)$	0	1	?
$(1,1,-1,1)$	0	1	?

トポロジーの一分野である結び目理論では，結び目・絡み目と呼ばれる幾何学的対象を代数的対象に変換して考察することがしばしば行われる．しかしながら，そのような変換を遂行するために必要な計算量は，一般に結び目・絡み目の複雑さが増すに従い急速に増大するとともに，得られる長大な計算結果から何かしら意味のある特性を抽出することは一般に困難を極める．このため，一般の絡み目ではなく特別な種類に限定して調べられることも多いが，それでも明示的な公式が求められることは稀である（[3]，[5]，[11]，[12]，[13]，[14]）．

本稿では，2橋絡み目と呼ばれるある特別な絡み目の族に対し，Q 多項式と呼ばれる絡み目の位相不変量を，古くからよく知られ，また現在でも様々な分野に登場するチェビシェフ多項式を介して表示することで，明示的な公式が得られることを報告する（詳細は [15] を参照のこと）．上のクイズのようなものを含む，いくつかの初等的だが珍妙で予想外な規則が公式を決定する様を楽しんでもらいたい．

2　準備

2.1　結び目・絡み目

定義 1. 3次元ユークリッド空間 $\mathbf{R}^3$ 内の自己交差のない閉曲線 K を**結び目**という．$K_1, K_2, \ldots, K_r$ を互いに交わりのない結び目とするとき，$L = K_1 \cup K_2 \cup \cdots \cup K_r$ を**絡み目**といい，K_i を L の**成分**という．結び目は，成分の数が1の絡み目である．

定義 2. 絡み目 L の $\mathbf{R}^3$ から $\mathbf{R}^2$ への射影による像を L の**ダイアグラム**という．ただし，ダイアグラムの多重点は有限個かつ2重点のみとし，交差は横断的であるとする．ダイアグラムの2重点には，絡み目 L で下を通る方の曲線の一部を消去して交差点の上下の情報を付加する（定義3の図2参照）．

2.2　2橋絡み目

2橋絡み目は，結び目理論における重要な絡み目のクラスの一つである．絡み目全体の中では，ほんの小

平成19年3月26日　受理

さな部分を占めるに過ぎないが，その扱いやすさと他の幾何的・代数的・解析的対象との非自明なつながりが多数発見されていることから，一般理論を検証するための実験台としてあるいは理論構築のための雛形として，しばしば利用されている．また，近年では，DNAとの関係が指摘され，まさに予想外の分野との架け"橋"としても注目されている．

定義 3. 2橋絡み目 $L_n := C(c_1, c_2, c_3, \ldots, c_n)$ とは図1に示すダイアグラムで定義される絡み目である．ただし，図1の中の長方形は図2に示される2本紐の c_k 回半ひねりを表しているものとする．このような2橋絡み目の表示方法をコンウェイの標準形という（[2], [9]）．

図 1: 2橋絡み目

c_k = ⋯ ：$c_k > 0$のとき

c_k = ⋯ ：$c_k < 0$のとき

c_k回半ひねり

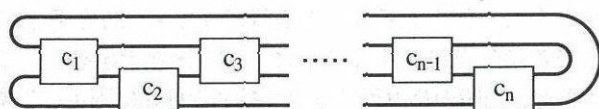
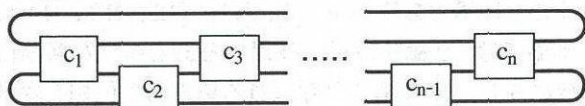
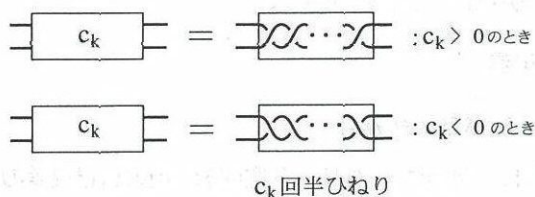



図 2: 2本紐のひねり

2.3　Q 多項式

定義 4. 向きのついていない絡み目 L に対し，$Q(L) \in \mathbf{Z}[x, x^{-1}]$ が，次の関係式 (1), (2) を満たすとき，$Q(L)$ を L の Q 多項式とよぶ：

(1) $Q(\bigcirc) = 1$,

(2) $Q(\times) + Q(\times) = x\left(Q()() + Q(\asymp)\right)$.

ここで，○は，自明な（結ばれていない）結び目を表し，×，×，)(，≍ が表す絡み目は，ダイアグラムのある1点の近傍のみがこれらのように異なるが，他の部分は全く同一であるものを示している．

定理 1 ([1], [4]). Q 多項式は向きのついていない絡み目の位相不変量である．

注意 1. 2成分の自明な（それぞれの成分は結ばれておらず，かつ2つの成分同士も絡まっていない）絡み目の Q 多項式は、$Q(\bigcirc\bigcirc) = 2x^{-1} - 1$ と定義から計算される。以下この値を d と書くことにする．

3　2橋絡み目の Q 多項式

表2に2橋絡み目の Q 多項式の例を示す．このような少ない例から意味のある特徴を抽出することはもちろん無理があるが，これまでの研究成果においても、一般的な規則性を記述する結果は部分的なものを除いて知られていない．

表 2: 2橋絡み目の Q 多項式の例

L_n	$Q(L_n)$
$C(1,1)$	$2x^{-1} - 1$
$C(2,2)$	$2x^2 + 2x - 3$
$C(1,1,1)$	1
$C(2,2,2)$	$2x^3 + 2x^2 - 4x + 2x^{-1} - 1$
$C(3,3,3)$	$2x^6+10x^5+10x^4-14x^3-18x^2+6x+5$
$C(1,2,3)$	$2x - 2x^{-1} + 1$
$C(2,3,1)$	$2x^2 + 2x - 3$
$C(3,1,2)$	1
$C(2,3,4)$	$2x^6+8x^5+4x^4-14x^3-8x^2+10x-2x^{-1}+1$
$C(3,4,2)$	$2x^6 + 8x^5 + 6x^4 - 10x^3 - 12x^2 + 2x + 5$
$C(4,2,3)$	$2x^6 + 6x^5 + 2x^4 - 6x^3 - 4x^2 + 1$

1987年，リコリッシュは，2橋絡み目の Q 多項式が行列を用いて計算できることを示した．即ち，2つの行列を

$$M = \begin{pmatrix} x & -1 & x \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad S = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

とおくとき次の定理が成り立つ．

定理 2 ([10]). 2橋絡み目 $L_n := C(c_1, c_2, c_3, \ldots, c_n)$ に対し，

$$Q(L_n) = (1,0,0)M^{c_1-1}SM^{c_2-1}S \cdots M^{c_n-1}S \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ d \end{pmatrix}.$$

注意 2. リコリッシュが [10] で実際に示したのは，2 変数の不変量であるΛ多項式に対するより一般的な定理である．Q 多項式は，Λ 多項式を 1 変数に特殊化したものである．

定理 2 に現れた行列 M のべき乗は次のように表すことができる．この命題によって Q 多項式とチェビシェフ多項式が結び付くことになる．

命題 3. 任意の $n \in \mathbf{Z}$ に対し，

$$M^n = \begin{pmatrix} u_n & -u_{n-1} & (1+u_{n-1}-u_n)/d \\ u_{n-1} & -u_{n-2} & (1+u_{n-2}-u_{n-1})/d \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

ただし，$u_n = u_n(x)$ は，第 2 種の変形チェビシェフ多項式といわれ，漸化式：

$$u_{n+2}(x) = xu_{n+1}(x) - u_n(x),$$

$$u_0(x) = 1,\ u_1(x) = x\ (, u_{-1}(x) = 0)$$

で定義される．

補足 . $u_n(x)$ は，$X = (x + \sqrt{x^2-4})/2$ とおくとき，$u_n(x) = (X^{n+1} - X^{-n-1})/\sqrt{x^2-4}$ と明示的に表すことができる．また，$x = q+q^{-1}$ とおくと，$u_n(q+q^{-1}) = (q^{n+1}+q^{-n-1})/(q-q^{-1}) = [n+1]_q$ となり，いわゆる q 整数に一致する．

定理 2 と命題 3 から，$Q(L_n)$ をチェビシェフ多項式を用いて表示できることは理解できるが，明示的な記述を得るためには少々長い準備が必要となる．

$J = \{1, 0, -1\}$ とおく．J の m 個の直積を J^m とかき，$v = (v_1, v_2, \ldots, v_m) \in J^m$ に対し，$||v|| := \sum_{i=1}^{m} v_i$ と定める．

定義 5 (部屋割りと部屋の分類). 自然数 n に対し，$\mathcal{I}_n = \{1, 2, \ldots, n\}$ とおく．$\mathcal{I}_n$ の部分集合 $Z = \{i_1, i_2, \ldots, i_p\}$ (ただし，$i_1 < i_2 < \cdots < i_p$とする) において，ある k が存在して $i_{k+1} - i_k > 1$ であるとき，Z の k 番目と $k+1$ 番目の要素の間には**壁**があるという．このとき，

（1）$v \in J^p$ と要素の個数が p である $Z \subset \mathcal{I}_n$ の組が与えられているとき，v にも Z と同じ位置に壁があるとみなし，それらは，下の例 1 のように "|" で表すことにする．Z により壁の情報が付与された v を v_Z とかき，Z により**部屋割り**された v という．J^p のすべての要素を与えられた Z により部屋割りしてできる集合を J^p_Z とかく．壁で仕切られてできる v_Z の部分列を**部屋**といい，それらを左から順に $R_1^{v_Z}, R_2^{v_Z}, \ldots$ で表す．

例 1. $Z = \{1, 3, 4, 5, 8, 10, 11\} \subset \mathcal{I}_n$（ただし，$n \geq 11$）と $v = (0, 1, 0, -1, 1, 0, 1) \in J^7$ に対し，$v_Z = (0 \mid 1, 0, -1 \mid 1 \mid 0, 1) \in J^7_Z$ と部屋割りされ，部屋はそれぞれ $R_1^{v_Z} = (0)$，$R_2^{v_Z} = (1, 0, -1)$，$R_3^{v_Z} = (1)$，$R_4^{v_Z} = (0, 1)$ である．

（2）$Z \subset \mathcal{I}_n$ が $n \in Z$ を満たす（つまり，$Z = \{i_1, i_2, \ldots, i_p\} (i_1 < i_2 < \cdots < i_p)$ ならば $i_p = n$）とき，$v_Z = (v_1, v_2, \ldots, v_p) \in J^p_Z$ の v_p を含む部屋（一番右端にある数を含む部屋）を v_Z の **n 部屋**という．

例 2. 例 1 において，$n = 11$ のときは，$R_4^{v_Z} = (0, 1)$ が n 部屋（$n = 11$）になる．$n > 11$ のときは，n 部屋はない．

（3）$v_Z \in J^p_Z$ の一つの部屋に含まれるすべての数の和が 0 のとき，その部屋を**空部屋**という．

例 3. 例 1 において，$R_1^{v_Z}$，$R_2^{v_Z}$ は空部屋である．$R_3^{v_Z}$，$R_4^{v_Z}$ は空部屋でない．

（4）$v_Z \in J^p_Z$ の一つの部屋 $R_k^{v_Z} = (v_1^k, v_2^k, \ldots)$（左から k 番目の部屋）において，ある l が存在して $v_l^k = -1$ であるとする．さらに，l より小さい $j (1 \leq j \leq l-1)$ が存在し，$v_j^k = 1$ かつ v_j^k と v_l^k の間に $(l-j-1)$ 個の 0 が並ぶとき，この $-1 (= v_l^k)$ は $1 (= v_j^k)$ に**随伴する**という．1 に随伴しない -1 がある部屋をもつ $v_Z \in J^p_Z$ の全体を $J^\times_Z$ とおくとき，$\mathcal{J}_Z := \{v_Z \in J^p_Z \mid v_Z \notin J^\times_Z\}$ を J^p_Z の**許容集合**という．

例 4. 例 1 の Z に対し，$(0 \mid 1, 0, -1 \mid 1 \mid 0, 1)$ は $\mathcal{J}_Z$ の要素となるが，$(-1 \mid 1, 0, -1 \mid 1 \mid 0, 1)$ や $(0 \mid -1, 0, 1 \mid 1 \mid 0, 1)$ は $\mathcal{J}_Z$ の要素とならない．

（5）$v_Z \in \mathcal{J}_Z$ の一つの部屋 $R_k^{v_Z} = (v_1^k, v_2^k, \ldots, v_r^k)$ において，$v_j^k (1 \leq j < r)$ の右側にある部分列 $(v_{j+1}^k, v_{j+2}^k, \ldots, v_r^k)$ を v_j^k の**右腕**という．$R_k^{v_Z}$ において，ある l が存在して $v_l^k = 1$ であるとする．v_l^k の右腕のすべての数の和が 0 になり，かつそのような 1 が右腕に存在しないとき，v_l^k の 1 を部屋 $R_k^{v_Z}$ の**室長**とよぶ（言い換えると，右腕の和が 0 になる 1 のうちで最も右にあるものが室長である）．

例 5. $v_Z = (0, 1, -1 \mid 1, 1, -1, 1^\dagger, 0, 1, -1 \mid 0 \mid 1^\dagger, 0)$ とすると，右肩に † のある 1 が各部屋の室長になる．

注意 3. 空部屋に室長は存在しない．

注意 4. 以下では簡単のため，v_Z を単に v とかくことにする．

定義 6 (部屋の様子で決まる関数達). $Z \subset \mathcal{I}_n$ に対し，$v \in \mathcal{J}_Z$ が与えられているとき，5種類の関数 $\phi_i^j(v) \in \mathbf{Z}[d]$ $(i=1,2,3,4,5, j=0,1,2,3)$ を以下で定義する．

（1）$\rho(v)$ を $v \in \mathcal{J}_Z$ の部屋の数とするとき，

$$\phi_1^j(v) := (1-d)^{\rho(v)-\delta_j(v)}$$

と定める．ここで，

$$\delta_j(v) = \begin{cases} 0, & \begin{cases} j=0 \text{ のとき，または} \\ j \neq 0 \text{ で } v \text{ に } n \text{ 部屋がないとき;} \end{cases} \\ 1, & j \neq 0 \text{ で } v \text{ に } n \text{ 部屋があるとき.} \end{cases}$$

（2）$\eta(v)$ を $v \in \mathcal{J}_Z$ の空部屋の数とするとき，

$$\phi_2^j(v) := (1+d)^{\eta(v)-\varepsilon_j(v)}$$

と定める．ここで，

$$\varepsilon_j(v) = \begin{cases} 0, & \begin{cases} j=0 \text{ のとき，または } j \neq 0 \text{ で} \\ v \text{ の } n \text{ 部屋が空部屋でないとき;} \end{cases} \\ 1, & j \neq 0 \text{ で } v \text{ の } n \text{ 部屋が空部屋のとき.} \end{cases}$$

（3）$v \in \mathcal{J}_Z$ の一つの部屋 $R_k^v (1 \leq k \leq \rho(v))$ の室長とその右腕についての条件から，以下の (i)，(ii) で関数 $\sigma_j(R_k^v)$ を与え，

$$\phi_3^j(v) := \prod_{k=1}^{\rho(v)} \sigma_j(R_k^v)$$

と定める．

(i) 部屋 R_k^v に室長がいて，室長の右腕に -1 が存在するとき，

$$\sigma_j(R_k^v) := \begin{cases} 1+d, & \begin{cases} j=0 \text{ のとき，または } j \neq 0 \\ \text{で } R_k^v \text{ が } n \text{ 部屋でないとき;} \end{cases} \\ 1, & j \neq 0 \text{ で } R_k^v \text{ が } n \text{ 部屋であるとき.} \end{cases}$$

(ii) 部屋 R_k^v の右端から r 番目に室長がいて，室長の右腕に -1 が存在しないとき，

$$\sigma_j(R_k^v) := \begin{cases} \displaystyle\sum_{i=0}^{r-1}{}' 2d^i, & \begin{cases} j=0 \text{ のとき，または } j \neq 0 \\ \text{で } R_k^v \text{ が } n \text{ 部屋でないとき;} \end{cases} \\ \displaystyle\sum_{i=0}^{r-1} d^i, & j=1 \text{ で } R_k^v \text{ が } n \text{ 部屋であるとき;} \\ d^r, & j=2 \text{ で } R_k^v \text{ が } n \text{ 部屋であるとき;} \\ \displaystyle\sum_{i=0}^{r-2} d^i & j=3 \text{ で } R_k^v \text{ が } n \text{ 部屋であるとき.} \end{cases}$$

ここで，$\displaystyle\sum_{i=0}^{n}{}' f_i := \frac{1}{2}f_0 + f_1 + f_2 + \cdots + f_n$ を用いた．

（4）$v \in \mathcal{J}_Z$ の一つの部屋に2つの1があって，それらの間には0しかないとき，そのような2つの1の組を $[1:1]$ 組と呼び，間にある0の個数をその $[1:1]$ 組の**零指数**という．v の部屋 $R_k^v (1 \leq k \leq \rho(v))$ に対し，

$$\zeta_k(v) := \prod_{[1:1] \text{組}} \sum_{i=0}^{\text{零指数}} d^i$$

とおき，

$$\phi_4^j(v) := \prod_{k=1}^{\rho(v)} \zeta_k(v)$$

と定める．

（5）$v \in \mathcal{J}_Z$ に1と -1 の対があり，それらが隣接しているか，またはそれらの間にある数が0のみであり，さらに1は左側に，-1 は右側に位置しているとする．このとき，そのような1と -1 の組を $[1:-1]$ 組と呼び，間にある0の個数に1を加えた数をその $[1:-1]$ 組の**零指数**という．v に含まれるすべての $[1:-1]$ 組の零指数の総和を $\xi(v)$ とおくとき，

$$\phi_5^j(v) := d^{\xi(v)}$$

と定める．

注意 5. $[1:-1]$ 組が2つの部屋にまたがることはない．

さて，主結果を述べる準備が整った．定理2に現れた行列の積 $M^{c_1-1}SM^{c_2-1}S \cdots M^{c_n-1}S$ を $Q^{(n)}$ とおき，$Q^{(n)}$ の (i,j) 成分を $Q_{i,j}^{(n)}$ とかく．

定理 4. 2橋絡み目 $L_n := C(c_1, c_2, c_3, \ldots, c_n)$ に対し，

$$Q(L_n) = \frac{1}{d^n}\left(1 + \sum_{\substack{Z \subset \mathcal{I}_n \\ Z \neq \phi}} \sum_{v \in \mathcal{J}_Z} (-1)^{||v||}\Phi_0(v)\right),$$

$$Q_{1,1}^{(n)} = \frac{1}{d^n}\left(1 + \sum_{\substack{Z \subset \mathcal{I}_n \\ Z \neq \phi}} \sum_{v \in \mathcal{J}_Z} (-1)^{||v||}\Phi_1(v)\right),$$

$$Q_{1,2}^{(n)} = \frac{1}{d^n} \sum_{Z \subset \mathcal{I}_{n-1}} \sum_{v \in \hat{\mathcal{J}}_{Z \cup \{n\}}} (-1)^{||v||-1}\Phi_2(v),$$

$$Q_{1,3}^{(n)} = \frac{1}{d^{n-1}} \sum_{Z \subset \mathcal{I}_{n-1}} \sum_{v \in \hat{\mathcal{J}}_{Z \cup \{n\}}} (-1)^{||v||-1}\Phi_3(v)$$

と表示できる．ここで，$Z = \{k_1, k_2, \ldots, k_p\} \subset \mathcal{I}_n$ で部屋割りされた $v = (v_1, v_2, \ldots, v_p) \in \mathcal{J}_Z$ に対し，

$$\Phi_j(v) = \left(\prod_{i=1}^{5} \phi_i^j(v)\right)\left(\prod_{i=1}^{p} u_{c_{k_i}+v_i-2}\right)$$

とする．さらに，

$$\hat{\mathcal{J}}_Z = \{v \in \mathcal{J}_Z \mid v \text{ の } n \text{ 部屋の右端の数は } 1 \text{ または } 0\},$$
$$\check{\mathcal{J}}_Z = \{v \in \mathcal{J}_Z \mid v \text{ の } n \text{ 部屋の右端の数は } 0 \text{ または } -1\}$$

とする．

注意 6. $\hat{\mathcal{J}}_{Z\cup\{n\}}$，$\check{\mathcal{J}}_{Z\cup\{n\}}$ は，n 部屋を必ずもつ．

余談になるが，一連の計算実験の過程で，次のような奇妙な因数分解の公式が見つかっている．証明はまだできていない．

予想 1. $Z=\{i_1,i_2,\ldots,i_p\}\subset\mathcal{I}_n$，$v\in\mathcal{J}_Z$ に対し，

$$\sum_{||v||=l}\prod_{i=1}^{5}\phi_i^0(v)=(-1)^l\binom{p}{l}(1-d)^{\rho(v)}(1+d)^{p-l}.$$

ただし，$\binom{p}{l}$ は２項係数である．

4　定理4の証明の方針

$Q_{i,j}^{(n)}$ について，次の事実が成立する．

事実 5.

(1) $dQ_{1,1}^{(n)}=Q_{1,1}^{(n-1)}(1+u_{c_{n-2}}-u_{c_{n-1}}) + Q_{1,2}^{(n-1)}(1+u_{c_{n-3}}-u_{c_{n-2}})+dQ_{1,3}^{(n-1)}$

(2) $Q_{1,2}^{(n)}=Q_{1,1}^{(n-1)}u_{c_{n-1}}+Q_{1,2}^{(n-1)}u_{c_{n-2}}$

(3) $Q_{1,3}^{(n)}=-Q_{1,1}^{(n-1)}u_{c_{n-2}}-Q_{1,2}^{(n-1)}u_{c_{n-3}}$

この事実と定理2から次の関係式が容易に得られる．

事実 6.

(1) $Q(L_n)=Q_{1,1}^{(n)}+Q_{1,2}^{(n)}+dQ_{1,3}^{(n)}$

(2) $Q(L_{n-1})=dQ_{1,1}^{(n)}+Q_{1,2}^{(n)}+Q_{1,3}^{(n)}$

(3) $dQ(L_n)-Q(L_{n-1})=(d-1)\left(Q_{1,2}^{(n)}+(d+1)Q_{1,3}^{(n)}\right)$

(4) $dQ_{1,1}^{(n)}=Q(L_{n-1})+Q_{1,1}^{(n-1)}(u_{c_{n-2}}-u_{c_{n-1}}) + Q_{1,2}^{(n-1)}(u_{c_{n-3}}-u_{c_{n-2}})$

定理の証明は n に関する帰納法による．

$Q(L_n)$，$Q_{1,1}^{(n)}$，$Q_{1,2}^{(n)}$，$Q_{1,3}^{(n)}$ がそれぞれ $n\le k-1$ の時，定理4を満たしていると仮定する．

$Q_{1,1}^{(k-1)}$ と $Q_{1,2}^{(k-1)}$ の成立を事実5(2),(3)に適用し，$Q_{1,2}^{(k)}$ と $Q_{1,3}^{(k)}$ が成立することを示すことができる．$Q_{1,1}^{(k-1)}$，$Q_{1,2}^{(k-1)}$，$Q_{1,3}^{(k-1)}$ の成立を事実5(1)に適用し，さらに事実6(1)と $Q(L_{k-1})$ の成立を利用して $Q_{1,1}^{(k)}$ が成立することを示すことができる。最後に，$Q_{1,2}^{(k)}$ と $Q_{1,3}^{(k)}$ と $Q(L_{k-1})$ を事実6(3)に当てはめて $Q(L_k)$ が定理を満たすことを確認できる．これらの作業は初等的な観察を繰り返すことにつきるが，煩雑である．

初期条件については $n\le 4$ までを確認すれば充分で，計算機による計算結果を利用した．

5　おわりに

残念ながら，これまでのところ，今回の結果が応用できるおもしろい問題にはめぐり会えていない．しかしながら，既に述べた通り，２橋絡み目は結び目理論において非常に重要な絡み目のクラスであり，この絡み目を介して様々な異なる分野や対象が結びついていることを考えあわせると，今回の結果と他の分野との関連を模索することは充分に意味のある研究対象であるといえる．実際，我々の $\phi_i^j(v)$ を支配するルールは，見るからに組み合わせ論的対象との関係を期待させるものがある．今後の詳細な分析が待たれる．

本稿では，Q 多項式と呼ばれる不変量に限定して結果を紹介したが，注意2に述べた通り，リコリッシュによる定理2は本来，Q 多項式の親玉ともいえる Λ 多項式と呼ばれる不変量に対して与えられたものである．オリジナルの定理を用いることで，定理4を拡張する Λ 多項式についての公式も得られることが現在ほぼわかっている．いわゆる量子不変量（コンウェイ多項式，ジョーンズ多項式，HOMFLY 多項式，Q 多項式，カウフマン多項式等）と呼ばれる絡み目の多項式不変量の間には、様々な関係があることがこれまでの多くの人々の研究により知られている．特に，２橋絡み目の Q 多項式とジョーンズ多項式の間には，金信による有名な美しい公式（[5]）がある．筆者は，これまでに２橋絡み目のジョーンズ多項式及び HOMFLY 多項式についての明示的な公式を提示している（[12]，[13]）が，今回の結果を含む我々の公式と既知の不変量間の関係式から新しい関係式が抽出できないか興味深い課題である．

一方，金信ー角らにより，多項式不変量で区別できない異なる２橋絡み目が多数存在することが報告されている（[6]，[7]）が，それらの不変量が一致する機構は未だ完全にはわかっていない．上述の調査の進展が，この問題（多項式不変量による２橋絡み目の分類問題）の解明に寄与する可能性に期待したい．

最後に，冒頭のクイズの解答をしておこう．２つの数の列の組から決まる"あるもの"とは，定義6の(2)に登場した，空部屋の数のことである．$Z=\{1,3,4,6\}$ と $v=(1,1,-1,0)$ からは $v_Z=(1\mid 1,-1\mid 0)$ となるの

で空部屋は 2 つ，$Z = \{1, 3, 4, 6\}$ と $v = (1, 1, -1, -1)$ からは $v_Z = (1 \mid 1, -1 \mid 1)$ となるので空部屋は 1 つ，そして，$Z = \{1, 2, 4, 6\}$ と $v = (1, -1, 0, 1)$ からは $v_Z = (1, -1 \mid 0 \mid 1)$ となるので空部屋は 2 つとなる．

謝辞

本研究の一部は，日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究（C）（課題番号 16540091) の補助のもとで行われた．

参考文献

[1] R. D. Brant, W. B. R. Lickorish and K. C. Millett, *A polynomial invariant for unoriented knots and links*, Invent. Math. **84**(1986) 563–573.

[2] J. H. Conway, *An enumeration of knots and links, and some of their algebraic properties*, Computational Problems in Abstract Algebra, 329–358, ed. J. Leech, Pergamon Press, New York, 1969.

[3] C. F. Ho, *A new polynomial invariant for knots and links–preliminary report*, Am. Math. Soc. Abstract **6**(1985) 300.

[4] V. F. R. Jones, *Hecke algebra representations of braid groups and link polynomials*, Ann. of Math. **126** (1987) 329–388.

[5] T. Kanenobu, *Relations between the Jones and Q polynomials for* 2*-bridge and* 3*-braid links*, Math. Ann. **285** (1989) 115–124.

[6] T. Kanenobu and T. Sumi, *Polynomial invariants of* 2*-bridge knots through* 22 *crossings*, Math. Comp. **60** (1993) 771–778, S17–S28.

[7] T. Kanenobu and T. Sumi, *Polynomial invariants of* 2*-bridge links through* 20 *crossings*, Aspects of low-dimensional manifolds, 125–145, Adv. Stud. Pure Math., 20, Kinokuniya, Tokyo, 1992.

[8] A. Kawauchi, *A Survey of Knot Theory*, Birkhäuser, Basel (1996).

[9] W. B. R. Lickorish, *Linear skein thery and link polynomials*, Topology Appl. **27** (1987) 265–274.

[10] Y. Mizuma, *A formula for the Casson knot invariant of a 2-bridge knot*, J. Knot Theory Ramifications **11** (2002) 667–672.

[11] Y. Mizuma, *Conway polynomials of 2-bridge knots*, Kobe J. Math. **21** (2004) 51–60.

[12] S. Nakabo, *Formulas on the HOMFLY and Jones polynomials of 2-bridge knots and links*, Kobe J. Math. **17** (2000)131–144.

[13] S. Nakabo, *Explicit description of the HOMFLY polynomials for 2-bridge knots and links*, J. Knot Theory Ramifications **11** (2002)565–574.

[14] S. Nakabo, *Q-polynomial of 2-bridge links in terms of Chebyshev polynomials*, in preparation.

研究資料

ギターと高分子

津田　祐輔

Guitar and Polymer

Yusuke TSUDA

Various polymer materials such as the wood, natural polymers are used for guitars. The synthetic polymers for various parts of guitars have been started to use since 1950's. For example, Nylon (polyamide) was used as a substitution of the gut guitar strings, and the fiber reinforced plastics were used for the body of guitars such as "Ovation". This paper reviews polymer materials used for the guitars based on the investigation such as JSTPlus, Patents, and Internet.

1．緒　言

2004年11月，アメリカ化学会が発行する機関紙：Chemical & Engineering News に "Chemistry in Concert" と言う大変興味深い記事が掲載された（図1）。「美しい音楽を創り出す為には楽器に用いられる高分子物質が主要な役割をする」と言うのがこの記事の要旨であり，楽器はギターを中心に採り上げていた。同じ時期に，ギター関連市場にポリマー（高分子）をコーティングしたスチールギター弦 "Elixir" が登場し，あまり錆びることなく長持ちするギター弦として脚光を浴びた。

最近，バイオリンの名器ストラディバリウスの音質の謎を科学的に解明する研究がなされている。現在までに得られた結論は，木材の化学的処理にその秘密が隠されており，やはり化学，特に高分子が重要な役割を示していることが示唆された。

本小論ではバイオリンではなく，よりポピュラーな楽器であるギターを対象の楽器として選んだ。現在の様に娯楽の多様性が少なかった60年代，70年代，多くの若者がギターを手にした。所謂，4畳半フォークの世界である。筆者もこの世代に属し，ご多分に漏れずギターを手にして約40年である。そして調査中に判明したことであるが，驚くことにギターに化学・高分子技術を適用し新製品を開発した人々の殆ども自らがギタープレイヤーであった。この様な理由から，身近で思い入れが深い楽器としてギターを選んだ次第である。

本小論は高分子を中心とした有機機能材料を研究分野とし，余暇にはギターも弾く筆者が日頃から興味や疑問を抱いていたギターに用いられる高分子に関して行った論文調査をまとめたものである。調査には JSTPlus のキーワード検索[1)-11)]，特許庁 HP からの特許のキーワード検索[12)]，インターネットの Google 検索[13)] などを用いた。その結果，高分子は予想以上にギターの各所に用いられ画期的な製品の開発に貢献していることが判明した。この調査が将来の開発・研究の一助となれば幸いである。

SCIENCE & TECHNOLOGY

CHEMISTRY IN CONCERT

Polymeric materials used in musical instruments play a major role in making beautiful music

BETHANY HALFORD, C&EN WASHINGTON

THE SCIENCE OF MUSIC HAS LONG been the domain of physicists. But don't let the eggheads fool you: There's plenty of chemistry in music.

wood in varying amounts. The components are held together by lignin, a complex branched heterogeneous aromatic polymer composed of phenylpropane units that are linked through aryl ether bonds.

図1　Chemical & Engineering News（アメリカ化学会）の特集記事: Chemistry In Concert

平成19年3月26日　受理

2．ギターのボディ材料と強化プラスチックボディのギター：“Ovation”の誕生

ギター及び類似の弦楽器の材料として先ず思い浮かべるのは木材であり，ボディ，ネック，指板，ブレイシング（力木）などギターの大半を構成する材料である。一般的なギター（所謂，アコースティックギター）の概観を図2に示す。木材はセルロース，リグニン及びヘミセルロースを主成分とする天然高分子であり，90％は細胞膜よりなり，木材組成中の細胞の配列によってその物理的性質が異なる。ギターに用いられる木材にはメイプル，マホガニー，ハカランダ，ローズ・ウッド，シーダー，スプルース，エボニー，アッシュ，アルダーなど多様なものが用いられ，多種多様な音色を作りだしている。木材の種類により細胞膜の形状とサイズが異なり，結果的に特定の周波数を減衰させたり増幅させたりして様々な音色が創り出される。ギターはこのような多種類の木材から演奏者の要望に応じ木材を選択し，熟練の技術で加工するルシアー（luthier，弦楽器製作者）の妙技により作られている。

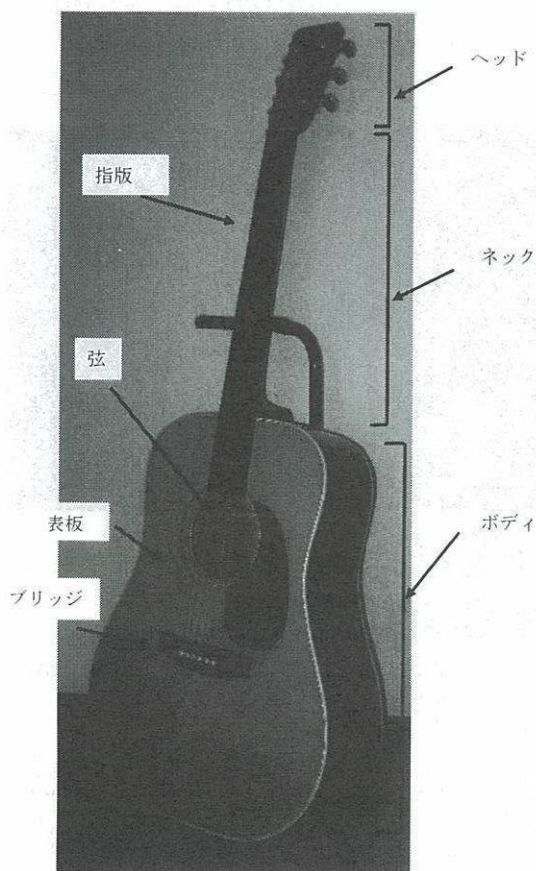
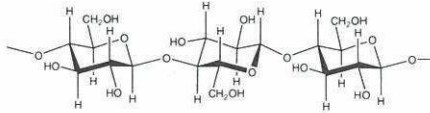
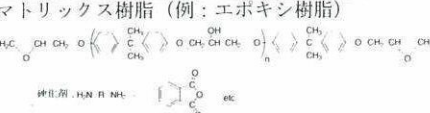
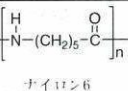
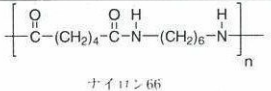
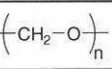
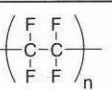
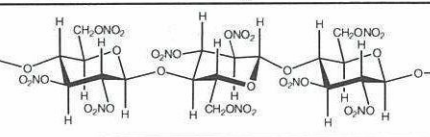
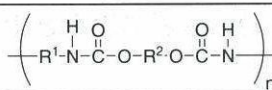



図2　一般的なアコースティックギターの構造

18世紀頃，現在の6弦ギターの原型が登場して以来，長い間，ギターの材料は木材のみが用いられていたが，ギターのボディを他の材料に置き換えようと言う試みは1950年代から始まり，先ずは全ての部品がプラスチック（ポリプロピレンなどの汎用プラスチックと思われる）で形成されたギターが試作されたが，その音色は冴えないものであった。一方，プラスチックボディのウクレレはまずまずの音質を有し商業的には一定の成功を収めている。

ギターに於ける本格的な木材の代替部品は，1960年代に登場した強化プラスチックボディである。即ち，炭素繊維強化樹脂（Carbon Fiber Reinforced Plastic）をボディ材料に用いた米国製ギター“Ovation（商標名）”の誕生である。この炭素繊維強化樹脂や天然高分子の木材も含め，ギターに用いられている高分子材料を表1にまとめた。

Ovationの開発は米国のチャールズ・カーマン氏によって行われたが，この開発の物語はセレンディピティ（思いがけない発見・発明のこと）の典型的な例として極めて興味深い。カーマン氏はヘリコプターの会社“カーマン・コーポレーション”を経営していたが，ヘリコプターの羽根に軽量で強度の大きい炭素繊維強化樹脂が着目されており，その振動や騒音は常に懸念するところであった。カーマン氏は航空機のエンジニアとして有能な人物であったがギタリストとしても大変な腕前で，大学卒業時にはエンジニアになるかミュージシャンになるか迷うほどであったと言う。結果的にカーマン氏は航空機エンジニアの道を選び，ユナイテッド・エアクラフト社に就職し，数年後には自ら航空機パーツメーカーを立ち上げた。カーマン氏はギターは趣味として演奏していたわけだが，ヘリコプターの羽根に用いられている炭素繊維強化樹脂の振動特性に着目し，自社の航空宇宙技術のスタッフを投入し多大の時間と機器を費やし，1967年にOvationギターを発表した（図3)。

Ovationにおいてはギターの背面及び側面に「リラコード」と言う名の炭素繊維強化樹脂が使用され，ラウンドバックと呼ばれる丸い形に成型されている。その他のギター表板やネックなど他の部分は木材を用いている。ラウンドバックの開発によりOvationは振動がボディ内部に集中しやすく「まとまりの良い音色」を出すのが特徴であり，ピエゾピックアップをボディ内部に付属させたエレクトリックアコース

表1　ギターに用いられる高分子材料

高分子材料	詳細	部品	化学構造
木材	セルロース リグニン ヘミセルロース	ボディ ネック 指板 ブレイシング （力木）	セルロース
繊維強化樹脂	炭素繊維 ガラス繊維 アラミド繊維 不飽和ポリエステル エポキシ樹脂	ボディ材料 ケース	マトリックス樹脂（例：エポキシ樹脂） 硬化剤：$H_2N-R-NH_2$ etc
ポリアミド	ナイロン6 ナイロン66	弦	$-[NH-(CH_2)_5-CO]_n-$　ナイロン6 $-[CO-(CH_2)_4-CO-NH-(CH_2)_6-NH]_n-$　ナイロン66
ポリアセタール	POM	弦	$-(CH_2-O)_n-$
ポリテトラフルオロエチレン	PTFE 延伸膨張PTFE （ePTFE）	コーティング弦	$-(CF_2-CF_2)_n-$
ニトロセルロース	ラッカー	塗料	
ポリウレタン		塗料	$-(R^1-NH-CO-O-R^2-O-CO-NH)_n-$

ティックギターもOvationによってその原型が作られた。

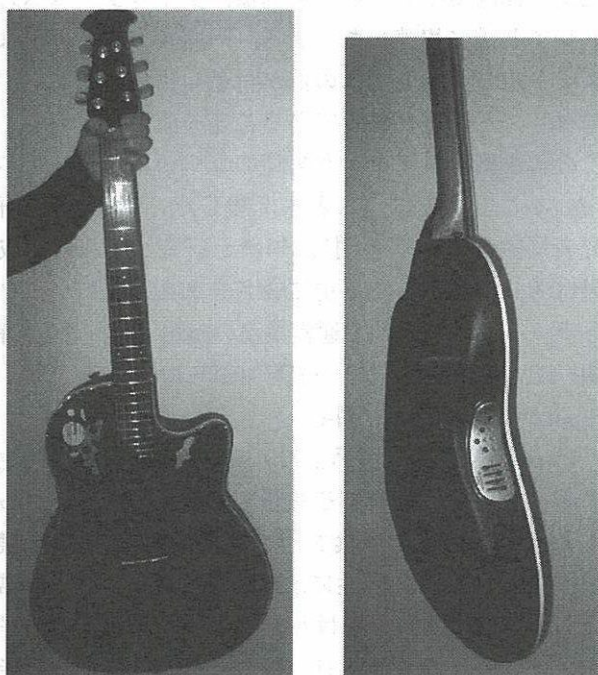



図3　ラウンドバックのFRPボディを有するギター；Ovation

Ovationに用いられている炭素繊維強化樹脂は広義には繊維強化プラスチック（Fiber Reinforced Plastics, FRP）の一種であり，繊維としてグラファイトを用いているのが特徴である。このような複合材料においては，強化される側の部材をマトリックスとして呼び，不飽和ポリエステル樹脂，エポキシ樹脂などの熱硬化性樹脂が用いられる。FRPの成型はハンドレイアップ（型に繊維を敷き樹脂及び硬化剤を流し込み硬化），SMC（シートモールディングコンパウンド法，プレミックスの板を型にあてて加熱硬化）などの方法がとられるが，木材の加工に比べると以下のようなメリットがあり，これがそのままOvationギターの特徴を引き起こしていると考えられる。

（1）形状の自由度が高い。ラウンドバックが可能となった。

（2）合成材料を用いているため，天然素材の木材に比べると材料の品質管理が容易。

（3）型を用いた成型ができるので製造工程の品質管理が容易。製造に熟練を要しないので大量生産にも適している。

（4）ギターの保存が比較的容易。傷などにも強い。

Ovationの開発から約30年ほどが経過した1990年代，木材の全てを繊維強化樹脂で置き換えたギター"Rain Song(商標名)"がRain Song Graphite Guitars社より上市された。同社の創業社長で開発者のデッカー氏はいくつかの論文にその開発経緯をまとめている[6)–8)]。これらの論文に拠れば，Rain Songは一定方向に編み込んだ炭素繊維及びアラミド繊維をエポキシ樹脂マトリックに加えたプレプリグをトランスファー成型法により加工しており，木材を用いたギターの欠点である脆さ，熱や湿気に対する弱さを解決し安定した環境適合性を示し，また木材製のギターと比べて遜色ない音響特性を有している。前述のOvationは繊維強化樹脂が用いられているとは言え，ギターの裏側のみであり，背面及びネックなどの他の部分は従来の木材である。Rain Songは木材を全く使用しないギターとして極めてユニークであり，品質の安定性，保守性などが期待できるこれからのギターと言えよう。

3．ギター弦への高分子素材の適用とナノテクノロジー弦"Elixir"

20世紀の中頃までギター弦は天然高分子であるガット（羊腸）かスチールから作られていた。ガットは羊の腸を取り出し内容物を除去し薄い膜の状態にしたものを引き延ばし，捻って寄り合わせて弦に加工されたものであるが，その製造工程から推測し品質管理はかなり難しく，耐久性，安定性も好ましくなかった。ナイロン（Nylon，ポリアミド）は1940年代に開発された初の合成繊維であり，1950年代には早くもギター弦，所謂，ナイロン弦に応用されており，ガットに比べると引っ張り強度，衝撃強度に優れ劣化にも強いものであった。ナイロン弦は現在もクラシックギターでは広く用いられており，合成品の高分子がギターに有効に用いられた最初の例と言えよう。最近はナイロンに替わり，ポリアセタール製の弦も登場し，引張強度や衝撃強度が良好であることから，激しくかき鳴らすタイプの弾き手に好まれている。

一方，ギターにスチール弦を用いる試みは米国のマーチン社によって19世紀後半から20世紀前半になされた。アコースティックギター（カントリーギター，フォークギターなどとも呼ばれる）の誕生である。スチール弦のギターはカントリーなどのアメリカ大衆音楽によくマッチし，その後もマーチンギターは最高峰のアコースティックギターとして君臨している。

スチール弦の材料のマイナーな改良はその後も重ねられていたが，1世紀ぐらいは大きな変化はなかったと考えられる。ブレーク・スルーは1990年代に訪れ，ここでも高分子が主要な役割を演じた。ポリテトラフルオロエチレン(PTFE)をコーティングしたスチール弦，"Elixir"の開発である。

Elixirの開発も創意工夫の精神に溢れており大変興味深い。何とElixirギター弦は防水透湿性素材で有名な米国のゴアテックス社から1997年に上市された。ゴアテックスは1969年に同社の創業者のロバート・ゴア氏が開発した画期的な新素材であり，PTFEフィルムとポリウレタンを複合化した極薄のフィルムを生地と生地の間にはさむことにより，雨は防ぐけれど湿気は逃がすという新しい機能を有し，レインウェア，アウトドア用品などに用いられている。ゴアテックス社で医療用素材，バイク用のケーブルのコーティングなどの研究を行った経験があるデイブ・マイヤーズ氏は新しいプロジェクトとしてディズニーランドの操り人形のワイヤーにPTFEを薄くコーティングした細線を用いる試みを行っていたが，ある日，彼はこのコーティング方法で新しいギター弦を開発することを思い立った。彼自身はギターの経験がなかった為，社内でギターを弾く同僚，チャック・ヘベストレイト氏に相談したところ，ヘベストレイト氏はスチールギター弦が指の油が付着し劣化することがギタリスト共通の悩みであることを直ちに指摘し，この解決策にゴアテックス社のコーティング技術が用いることができることを示唆した。この2名の研究者は彼らの余暇時間に2年ほど研究してみたが成果は芳しくなかった。更に数名を加えたプロジェクトチームが結成され，通常業務のspare time（空き時間）に3年間研究を続け，待望のPTFEコーティング弦，Elixirが開発された（図4）。

Elixir（錬金薬と言う意味）はPTFEの撥水撥油性により，指から付着する油脂成分をはじき，汗からくる水分をはじき腐食を遅くする。PTFEの撥水撥油性はC−F結合の極性により油を反発し，C−C結合の親油性により水をはじくことから発現する。ギター弦は張った直後が良い音がするが，張った直後は弦が僅かに伸びるため音程が安定せず通常は安定するまで1日ぐらい掛かる。Elixir の場合，PTFEの

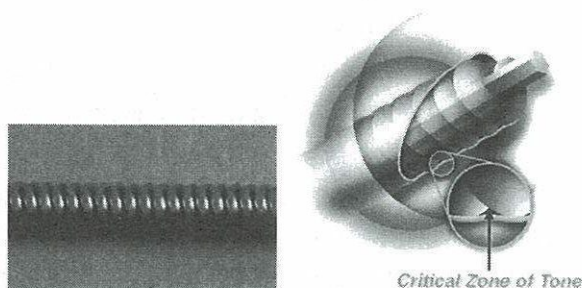



図4　リテトラフルオロエチレン(PTFE)をコーティングした弦;Elixir（同社のホームページより）

コーティングにより，この初期的な調音の不安定さも防ぎ，「張って直ぐに使えるギター弦」と言う新しい特徴も有していた。

この様にElixirギター弦は高分子技術の画期的な応用であり，Elixirの2つのグレード（コーティング厚さの違いによる）の名称がPolywave, Nanowaveとなっているのも興味深い。Elixirの登場以来，数々のコーティング弦が開発されているが，中にはAlchemy（錬金術）と冠した弦も発売されている。

4．塗料とギターの音質

ギター，ピアノなどの木製の楽器に塗装する目的は響板木材の防湿効果による寸法変化の安定性と美観が挙げられる。一方，塗装の音質に関する直接的な影響も指摘されている[9]。例えば，全く同じ木材を用いたギターに異なった塗装を施すと異なる音質がすると言われている。一般に塗料は高分子を溶剤に溶解させたものであり，塗膜，即ち高分子の膜の性質がギターの音質に影響を及ぼす。硬い塗膜は高い周波数で共鳴し，柔らかい塗膜は低い周波数と共鳴する。ギターの塗料に用いられる高分子はポリウレタン，ニトロセルロース（ラッカー塗装），アクリルポリマー，UV硬化樹脂そして天然高分子（ポリエステル）であるシェラックなどが挙げられる。シェラックは優れた音質が発揮できる塗料として知られているが，塗膜の粘弾性的性質が影響を及ぼしており，シェラックの場合，貯蔵弾性率（E'）と損失弾性率（E"）のバランスが他の塗膜では得られない領域にあることが指摘されている。但し，水分の影響を受けやすく傷が付きやすいなどの欠点を有し，貝殻虫から得られる天然物という事もあり，ナノテクノロジーを活かした機能性高分子の登場が待たれる分野であると考える。

一方，同じ弦楽器であるバイオリンに関しては，名器ストラディバリウスの優れた音質の解明が多方面から研究されている。ストラディバリウスはイタリアのクレモナで300年前にできた楽器であるが同じ木材を用い同じ形に作っても美しい音は再現されない。

米国テキサスA&M大学を退職した生化学の教授，Dr. Joseph Nagyvaryは赤外吸収スペクトル測定及び固体NMR解析により，クレモナで作られたバイオリンは化学処理によりヘミセルロースの含量が少なくなっていることを確認している（図5）[1]。また，修理作業の際に出たストラディバリウスの削りくずをIRと固体NMRで分析したところ，カエデ原木が銅塩，鉄塩，クロム塩などで防腐処理されており，これが美しい音質に結びついていることを推測している[13]。一方，ある化学者はバイオリンに塗るニスに秘密が隠されていることを指摘している。即ち，通常のニスの皮膜は平坦な膜であるが，これに両親媒性分子を混ぜるとニスがクラスターを作り組織化され，この超分子構造体が共鳴して美しい音質を形成すると言う[14]。京都大学，生存圏研究所の矢野浩之教授は化学処理を行って実際にストラディバリウスの音質を再現する実験を行った。ホルマール化処理（ホルムアルデヒドにより木材中の水酸基間に架橋構造を形成する反応）やサリゲニン（モノメチロールフェノール）処理などにより木材の振動吸収の周波数依

STRADIVARI'S LEGACY

Chemical Analysis Takes On The Cremonese

Joseph Nagyvary has been bewitched by the violin's physical mysteries for more than 30 years. The retired Texas A&M University biochemistry professor half-seriously traces his infatuation to his first formal violin lesson more than 40 years ago, when he played an instrument once owned by Albert Einstein.

For the past 30 years, Nagyvary has been using science to investigate what makes the legendary violins of Antonio Stradivari, Nicolo Amati, and Bartolomeo Giuseppe Guarneri so special. During the 17th and early-18th centuries, these great violin makers lived in the northern Italian city of Cremona.

Since this golden age, violin makers have tried just about everything imaginable to reproduce those instruments' distinctive sounds, but they've had little success. Nagyvary believes the sonorous secret lies within the instruments' polymers, particu-

way to Cremona, as well as from chemical treatments used to prevent mold and to ward off woodworms. Violins made in Milan—just 80 miles away—during the same time period are riddled with the telltale holes of the pests, he says.

With all due respect to the master

VIRTUOSO Nagyvary analyzes the sound of a violin he built using chemical insight.

図5　ストラディバリウスの音質を解析する米国テキサスA&M大学元教授，Dr. Nagyvary（文献1より）

存性をコントロールできることを確認し，実際にプロの演奏家による官能試験（コンサートホールで演奏）を行いオールドバイオリンに比べて遜色ない音が再現できることを確認している[3)]。バイオリンとギターでは木材の振動吸収の要求性能が異なり，例えばボディ裏面材料に関して言えば，バイオリンでは振動吸収の大きい木材が，ギターでは振動吸収の少ない材料が好まれる。バイオリンにおけるこの様な科学的な研究がギターにおいても達成され，「オールド・マーチン」（戦前に作られ，ボディに希少なハカランダ材を用いている）の音質を再現したギターが登場する日も近いであろう。

5．その他の高分子材料及び音響工学的な研究

これまで述べた高分子以外にもギターにおいては各所に高分子が用いられている。アクリル樹脂のノブ，ナイロンやテフロン製のブリッジ，ネックとボディをつなぎ合せる接着剤，各種プラスチック製のピックなどが挙げられる。接着剤は膠がベストであり優れたサスティーンが得られるとの事だが，最近は接着剤の開発は急速に進んでいるため，新規な接着剤の応用が待たれる分野でもあろう。ギターケースもガラス繊維強化樹脂，ポリエステル，塩化ビニル（PVC）などのポリマー素材が広く用いられている。

近年，各種の測定装置を用いギターの音質を科学的に解明しようと言う試みも随所でなされている。例えばヤマハ㈱の村瀬吉彦氏はギターやピアノの響板／塗膜複合系の音響特性を共振法，有限要素法シュミレーション，塗膜単体のVibronによる粘弾性スペクトル測定などの手法を用いて数値化し音質との関係を明らかにしている[9)]。また，岐阜大学の小野，磯村両氏はL方向に配向した炭素繊維強化樹脂，R方向に配向した炭素繊維強化樹脂，ポリウレタンフォームの3層からなる複合体をボディ材料としたギターの振動スペクトルを測定しパワースペクトルを解析することで，この複合体が音響ボードとして適していることを示した[2)]。

6．結　語

今回の調査で改めて認識したことはギターの殆ど全ての材料が高分子と関与していると言うことである。高分子の研究分野では続々と新素材が生まれており，電子材料，医療材料など従来，金属やガラスなど他の材料が用いられていた分野に種々の新高分子材料が用いられている。極めつけの例は電気を通さないと言うのが常識だった高分子材料に導電性高分子が開発され，携帯電話のバッテリーなどに応用されていることであろう。

この様な観点で言えば，ギターに限らず各種の楽器や音響材料への高分子の応用はまだまだこれからの分野であると考える。高分子は他の材料に比べると軽量で成型加工における形状の自由度が高い。また合成高分子，特に高分子複合材料は多様な原料から製造することが可能で分子設計の自由度も高い。「鳴りの良さ」を科学的に解明する音響工学的な研究とタイアップした新高分子材料の分子設計が望まれるであろう。

尚，「ギターと高分子」は筆者が本校に於いて担当している授業科目；「物性化学」（専攻科），機能有機材料（生物応用化学科・5年）などで時折，トピックスとして紹介していた項目でもある。この調査の成果を今後の教育・研究に活かしたいと考えている。

今回の調査ではピックアップが付属していないアコースティックギターを主に採り上げたが，ピックアップが付いたエレキギター，もしくはエレクトリックアコースティックギターに関しても様々な高分子の応用，電子工学の応用が含まれており，今後，調査・研究を進めて行きたいと考えている。

謝　辞

Ovationギターの写真撮影に協力戴いた本校・一般科目（理科）中坊滋一准教授に感謝いたします。

参考文献

1) B. Halford, Chem & Eng News, Vol. 82, No. 47, 57 (2004).
2) T. Ono and D. Isomura, Acoustic Sci Technol, Vol. 25, No. 6, 475 (2004).
3) 矢野浩之，未来材料，Vol. 4, No. 5, 2 (2004).
4) 旧橋章，工業材料，Vol. 45, No. 9, 113 (1997).
5) T. Triplett, Ind. Paint Powder, Vol. 72, No. 10, 12 (1996).
6) J. A. Decker, Int. SAMPE Symp. Exhib., Vol. 40, No. 1, 667 (1995).

7) J. A. Decker, Int. SAMPE Symp. Exhib., Vol. 38, No. 1, 282 (1993).
8) J. A. Decker, Compos. Inst. Int. Compos. Expo. Proc., Vol. 47, SESSION 5. C. 1 (1992).
9) 村瀬吉彦，高分子，Vol. 39, No. 11, 798 (1990).
10) E. K. Staempfli, Reinf. Plast.,Vol.26, No.8, 238 (1982).
11) 松岡信一，機械の研究，Vol. 34, No. 3, 365 (1982).
12) 例えば，「楽器用の改良弦」，チャールズ・ジー・ヘベストレイト外3名，特許公表2002−515131 (2002).
13) 例えば，「Welcome to Ovation Guitars」(http://www.ovationguitars.com/)，「エリクサー(R)ギターストリングス」(http://www.jgoretex.co.jp/elixir/).
14) 「化学かわらばん」，現代化学，2007年3月，76 (2007).
15) 「超分子と高分子」，斎藤勝裕，2006年3月，94 (2006).

久留米工業高等専門学校紀要出版投稿内規

［平成12年11月８日制定］

久留米工業高等専門学校紀要出版投稿内規（平成４年４月１日制定）の全部を改正する。

1　掲載する事項の種類と内容

「論文」，「研究報告」及び「その他」の３種類とし，論文及び研究報告については著者の原著で，未発表のものに限る。

⑴　「論文」とは一般論文，総合論文，寄書等である。

［一般論文］：独創的な結果，考察，結論を記述したもの

［総合論文］：一つの主題についての総合的な解説で，主として著者自身の研究又は考え方を反映したもの

［寄　　書］：⒜　研究内容が独創的かつ重要な結論を含み，これを実証するに必要な実験あるいは根拠を備えているもの

⒝　他の論文に対する討論又は考察

⑵　「研究報告」とは，教育研究報告及び学術研究報告である。

「教育研究報告」：教育の実践的方法論的研究，教育内容的研究，教材，実験設備等の開発研究，教育活動等に関するもの

「学術研究報告」：学会誌等へ投稿を目指している途中の研究，研究活動等で，その着想や手法に特徴があり，研究の紹介に意義があると考えられるもの

⑶　「その他」とは資料，特許紹介，年間発表の論文・著書等及び講演題目，卒業研究題目，専攻科研究論文，学位論文紹介等である。

［資　　料］：⒜　研究資料

一つの主題について断片的な解説，データの集積及び解析，分析法及び実験法等の内容をもつもので，設計参考データ，計算図表，試験報告，統計等を含む。

⒝　教育資料

高専教育の主題について教育方法の問題点，施行結果，改善策，統計等を主としたもので，高専教育に有用な内容をもつもの

2　著作権

⑴　第18巻第１号以降の紀要に掲載された論文等の著作権は，久留米工業高等専門学校（以下「本校」と略す。）に帰属する。

⑵　著作者は，本校に著作権が帰属した論文等の全部又は一部を学術情報として著作者自身で利用する場合には，原則として伺い出ることとする。

3　投稿手続及び原稿の採否決定

⑴　投稿手続：投稿責任者は，紀要投稿申込書，紀要投稿原稿目録・原稿を著者所属学科の紀要編集委員会（以下「委員会」と略す。）委員に提出し，委員会がこれらを受理する。

⑵　原稿の採否決定：投稿責任者は，委員会において原稿内容を説明する。この説明及び原稿に基づき，委員会は原稿採否の決定を行う。

4　印刷校正

⑴　校正は，３校までとする。

⑵　校正は，必ず赤字書きで行う。

⑶　校正は，活字の誤植，誤字及び欠字の修正のみで，表現内容及び行数の変更はできない。

5　原稿受理年月日と著者の所属機関

(1)　原稿受理年月日：紀要投稿原稿目録記載の受理年月日を脚注に掲載する。
(2)　著者の所属機関：本校教職員以外の共著者についてのみ，その所属機関を脚注に掲載する。

6　原稿作成要領

下記要領や委員会の指示に従って原稿を作成する。

(1)　原稿の作成は，既存の紀要を参考に，なるべくワードプロセッサーで作成する。図，表等でワープロ表現が困難な場合は，なるべく希望する刷り上がりと同じようなレイアウトを示しておく。

(2)　原稿の本文は，原則として横書きとする。
和文の場合，手書きによる作成は所定の原稿用紙に黒，青インキ書きとする，
ワードプロセッサーによる作成は，白紙を用い書式は所定の原稿用紙のものと同じとする。
欧文の場合は，ワードプロセッサーにより作成する。この場合刷り上がりの１頁は100字×44行を基準とする。

(3)　論文は，原則として題名，概要，緒言，本論（実験），結果，考察等の順に書く。このうち不必要な項目は，省いても差しつかえない。
概要を記載する場合は，英文とし，目的，特徴，結果等を200語以内に要約する。なお，英文題名，ローマ字の著者名（Full name）を添える。ただし，ドイツ語及びドイツ文学に関する論文に限り，題名及び概要は独文で書くことができる。

(4)　文章は，原則として当用漢字，現代かなづかいにより簡潔，明確に書き，ローマ字，ギリシャ文字，特殊文字はすべて活字体で正確に記入する。
数式等で，独立したものは，$\frac{a}{b}$, $\frac{a+b}{c+d}$ のように，文中に出てくるものは a/b, (a+b)/(c+d) のように書く。
量記号等については，大文字，小文字の区別をして，正確に書くこと。
例）O（オー）と0（ゼロ），r（アール）とγ（ガンマー），k（ケイ）とκ（カッパー）等

(5)　原稿における本文の区分は，原則としてポイントシステムによる記号を用いて大見出し，中見出し，小見出し等を明確にする。
例１）1　　1.1　　1.1.1　　例２）1　　1.1　　(1)　　(a)
大見出しは二行分に，小見出しは一行に書く。

(6)　機器，材料，薬品等の名称は，現在慣用されているものを原則として日本文字（仮名も含む）で書く。なお，これらに用いる用語は，各専門分野の使用基準（便覧，学術用語集等での例）を参考にする。
諸記号や符号等は，国際的・専門的に慣用されているものを用いる。

(7)　注及び参考文献は，原則として，それぞれ通し番号を付し本文の末尾に一括して記載する。
表示は，投稿者の所属する学会の規定を準用する。

(8)　句読点，カッコ，ハイフン等は，原稿用紙の一コマに書き，新しい行の始めは一コマあける。

(9)　図，表，写真の番号は，図１，図２……　表１，表２……　写真１，写真２……のように記入し，説明を要する場合は，表は表の上に，図・写真は図・写真の下に書く。

(10)　図，表，写真の原稿右欄外に，投稿責任者名，刷り上がりの大きさ及び挿入希望箇所を記入する。

(11)　５で規定する原稿受理年月日と著者の所属機関の脚注は，１頁目に書く。

(12)　原則として刷り上がりが６頁以内になるよう，原稿（図，表，写真を含む）の総調整をする。ただし，論文の特殊性により委員会の議を経て，５頁まで超過を認めることができる。

(13)　年間発表の論文・著書等及び講演題目の作成に関しては，別に定める。

附　則

この内規は，平成13年４月１日から施行する。

附　則

この内規は，平成14年７月25日から施行し，平成14年４月１日から適用する。

平成19年 5月 発行

紀　　要　第22巻　第2号

〒830-8555　久留米市小森野一丁目1番1号
編集兼発行者　久留米工業高等専門学校
TEL　0942-35-9300

〒830-0037　久留米市諏訪野町2432
印刷所　多田印刷株式会社

Memoirs of
Kurume National College of Technology

Vol.22 No.2 May 2007

Kurume National College of Technology
1-1-1 Komorino, Kurume City, Fukuoka Pref. 830-8555, Japan
http://www.kurume-nct.ac.jp/